

**Lateralität bei Leistungsschwimmern -
Experimentelle Studie zur Verringerung von
Seitigkeitsunterschieden**

D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. phil.
im Fach Sportwissenschaft

eingereicht am 08. Januar 2009
an der Philosophischen Fakultät IV der Humboldt-Universität zu Berlin

von
Mario Hermsdorf
geboren am 11.04.1975 in Sondershausen

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Dr. h.c. Christoph Marksches

Dekanin der Philosophischen Fakultät IV
Prof. Dr. Wiltrud Gieseke

Gutachter

1. Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann
2. Prof. Dr. Günter Tidow
3. Prof. Dr. med. Roland Wolff

Tag der Promotion: 09.09.2009

Abstract

Einleitung: Die Resultate veröffentlichter Studien zur Lateralität (im Sport), die Ergebnisse der Auswertungen von IAT-Daten sowie die Befunde eigener Untersuchungen zeigen, dass nicht nur in azyklischen sondern auch in zyklischen Sportarten wie dem Schwimmen bei den Athleten Seitenunterschiede zu finden sind. Kann durch ein zusätzliches Kraftausdauertraining bei Hochleistungsschwimmern eine vorhandene Lateralität bei den oberen Extremitäten verringert werden?

Ergebnisse und Diskussion: Ein positiver Effekt des Trainings am Armkraftzuggerät, welches mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten durchgeführt wurde, konnte nur bei zwei von den sieben Probanden der Testgruppe nachgewiesen werden. Die anderen Probanden der Testgruppe zeigten bei den gemessenen Parametern keine eindeutige Verringerung der absoluten bzw. prozentualen Differenzen, teilweise waren sogar Differenzvergrößerungen zu finden. Die Probanden der Kontrollgruppe, die mit denselben Belastungseinstellungen für die beiden Seiten trainierten, zeigten ein sehr heterogenes Bild bei den erreichten Ergebnissen. Während bei sechs Probanden die erreichten Ergebnisse relativ stabil blieben, stiegen die Differenzen bei den anderen vier Probanden in unterschiedlichen Messungen an. Insgesamt kann keine signifikante Verringerung des anfangs vorhandenen Seitenunterschiedes bei der Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Bei einer nachträglichen Trainingsdatenanalyse des Schwimmers Pb. 18 konnte festgestellt werden, dass über den Zugstil Schmetterling auf der linken Seite, wo höhere Belastungen eingestellt waren, auch höhere Leistungswerte provoziert wurden als bei der Zugart Kraul. Ferner waren die Leistungswerte beim Schmetterling links größer als rechts, was bei Kraul nicht der Fall war. Dort zeigte die rechte Extremität höhere Werte. Ob nun solch ein Training am AKZ mit dem Zugstil Kraul oder Schmetterling zu besseren Ergebnissen führt, konnte noch nicht geklärt werden. Aus diesem Grund wird ein Training in der Zugart der Hauptlage empfohlen. Außerdem sollte versucht werden, im allgemeinen Training spezielle Übungen zur Verringerung von Seitigkeitsunterschieden zu integrieren.

Schlüsselwörter:

Lateralität, Trainingsexperiment, Schwimmen, Kraftausdauer, Leistungssport

Abstract

Introduction: The results of published studies on laterality (related to sport) as well as results of evaluations from IAT (Institute for Applied Sports Training) data and findings of own investigations indicate the existence of laterality in athletes, not only in acyclic but also in cyclical sports such as swimming. Is it possible to reduce existing laterality in upper extremities by additional strength endurance training in high performance swimmers?

Results and discussion: A positive effect of swimming machine ergometer training, with different load settings for both sides, could be proven by only two out of seven subjects, whose side difference decreased demonstrably. The measured parameters didn't show any significant decrease of the absolute and/or percentage differences for the other subjects, in fact an increase of side differences were to be found partially. The subjects of the control group, undergoing the same training, showed heterogeneous results. While the results of the six subjects remained stable, the side differences of the other four subjects increased during different measurements. Overall, there was no significant decrease of the existing laterality in the test group compared to the control group. In an additional training data evaluation of subject 18 it was found that the athlete's left-hand side, where higher loads were set, was able to gain a higher performance in butterfly style than in crawl. In contrast to crawl style, the left side performance values during butterfly strokes were higher than right-hand side values. During crawls strikes the right-hand side displayed higher values. Whether a „crawl" or „butterfly" training at the swimming machine ergometer leads to better results, could not be clarified yet. For that reason, training in the athlete's favored swimming position is recommended. Moreover, the general training program should imply certain exercises to decrease laterality.

Key words:

laterality, training experiment, swimming, strength endurance, competitive sports

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Symbolverzeichnis.....	IX
Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis	XIV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Begriffsabgrenzungen.....	3
2.1 Begriffsdefinitionen	3
2.1.1 Dominanz	3
2.1.2 Lateralität, Seitigkeit	4
2.2 Lateralitätsphänomene.....	6
2.2.1 Hemisphärenasymmetrie und Hemisphärenlateralität	7
2.2.2 Beinigkeit, Füßigkeit.....	11
2.2.3 Drehseitigkeit.....	14
2.2.4 Händigkeit	19
2.2.4.1 Definition	19
2.2.4.2 Untersuchungsmethoden	21
2.2.4.3 Ergebnisse der Händigkeitsforschung.....	23
2.3 Lateralität und Sport	26
2.3.1 Der Einfluss der Lateralität im Sport	26
2.3.2 Lateralität und Training – Bilateraler Transfer	28
3 Voruntersuchungen	31
3.1 Eigene Untersuchungen	31
3.1.1 Methodik	31
3.1.1.1 Probanden.....	31
3.1.1.2 Messorte	32
3.1.1.3 Messgeräte.....	32
3.1.1.4 Untersuchungsdesign	35
3.1.1.5 Messparameter	36
3.1.1.6 Datenverarbeitung und -auswertung	37
3.1.2 Ergebnisse.....	38
3.1.2.1 Daten vom Armkraftzuggerät	38
3.1.2.2 Daten vom Strömungskanal	41
3.1.3 Zusammenfassung.....	44

3.2	Untersuchungen am IAT.....	46
3.2.1	Methodik	46
3.2.1.1	Probanden.....	46
3.2.1.2	Messort und -geräte.....	47
3.2.1.3	Messparameter	47
3.2.1.4	Untersuchungsdesign der KLD	47
3.2.1.5	Datenverarbeitung und Auswertung	48
3.2.2	Ergebnisse.....	48
3.2.2.1	Querschnittsuntersuchung	49
3.2.2.2	Längsschnittsuntersuchung	53
3.2.3	Zusammenfassung.....	57
3.3	Schlussfolgerungen	59
4	Fragestellungen	60
5	Stichprobe und Methoden	61
5.1	Probanden	61
5.2	Test- und Trainingsorte.....	61
5.3	Test-, Mess- und Trainingsgeräte.....	62
5.3.1	Strömungskanal	62
5.3.2	Armkraftzuggerät (AKZ)	63
5.3.3	Videosysteme.....	67
5.3.4	Laktatanalyse.....	67
5.4	Untersuchungsdesign.....	67
5.5	Das Schwimmtraining sowie das zusätzliche Zugtraining.....	68
5.6	Datenerhebungen und Messparameter	72
5.6.1	Fragebögen.....	72
5.6.2	Strömungskanal	72
5.6.3	Armkraftzuggerät.....	73
5.6.4	Laktat	73
5.7	Datenverarbeitung und Auswertung	73
6	Ergebnisse	75
6.1	Ergebnisse des Schwimmers Pb. 01	75
6.1.1	Strömungskanal	75
6.1.2	Armkraftzuggerät.....	76
6.1.2.1	Mittlere Leistung.....	79
6.1.2.2	Mittlere Kraft	80
6.1.2.3	Maximale Kraft.....	82
6.1.2.4	Zugweg.....	83

6.1.2.5	Zugzeit	85
6.1.2.6	Laktat	86
6.1.3	Wettkampfzeiten	87
6.1.4	Zusammenfassung	87
6.2	Ergebnisse aller Probanden, Gruppen und Tests	87
6.2.1	Strömungskanal	88
6.2.2	Armkraftzuggerät	89
6.2.2.1	Zugfrequenzen	89
6.2.2.2	Gesamt- und mittlere Leistungen	91
6.2.2.3	Mittlere Kraft	94
6.2.2.4	Maximale Kraft	97
6.2.2.5	Zugwege	100
6.2.2.6	Zugzeiten	103
6.2.2.7	Laktat vor und nach den Tests	106
6.2.3	Wettkampfzeiten	109
6.2.4	Zusammenfassung	110
6.3	Trainingsdaten eines Athleten	111
7	Diskussion	116
7.1	Tests im Strömungskanal	116
7.2	Tests am Armkraftzuggerät	118
7.2.1	Vergleich der Ausgangswerte mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen	118
7.2.2	Die Ergebnisse des Trainingsexperiments	120
7.3	Auswertung der Trainingsdaten des Schwimmers Pb. 18	129
7.4	Methodenkritik	131
7.5	Schlussfolgerungen und Ausblick	132
8	Zusammenfassung	133
	Literatur	136
	Anhang	143
	Danksagung	173
	Eidesstattliche Erklärung	174

Abkürzungsverzeichnis

1Fm	1 Minute, Freistil, männlich
1Fw	1 Minute, Freistil, weiblich
1Sm	1 Minute, Schmetterling, männlich
1Sw	1 Minute, Schmetterling, weiblich
2Fm	2 Minuten, Freistil, männlich
2Fw	2 Minuten, Freistil, weiblich
2Sm	2 Minuten, Schmetterling, männlich
2Sw	2 Minuten, Schmetterling, weiblich
3NB	3 Minuten nach Belastung
Abb.	Abbildung
abs.	absolut, -e
AKZ	Armkraftzuggerät
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CT	Computertomographie
Diff.	Differenz
DSV	Deutscher Schwimmverband e.V.
EEG	Elektroenzephalographie
EMG	Elektromyographie
EOG	Elektrooculographie
FES	Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten
Fm	Freistil, männlich
fMRT	funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie
Fw	Freistil, weiblich
HDT	Hand-Dominanz-Test
HL	Hauptlage
Hrsg.	Herausgeber
HS	Hauptstrecke
IAT	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft
i. e. S.	im engeren Sinne
iEMG	integriertes Elektromyogramm
K	Kontrollgruppe
KA	Kraftausdauer
KH	Körperhöhe

KLD	Komplexe Leistungsdiagnostik
KM	Körpermasse
lat.	Lateinisch
LED	Light Emitting Diode
li.	links
LDT	Leistungs-Dominanz-Test
LQ	Lateralisierungsquotient
M.	Musculus (lat.: der Muskel)
max.	maximal, -e, -er, -en
Mess.	Messung, -en
Min.	Minute
mittl.	mittlere, -n
Mw.	Mittelwert
MVC	maximum voluntary contraction
n	Anzahl
NB	nach Belastung
NMR	nuclear magnetic resonance
NOC	National Olympic Committee
o. g.	oben genannten
o. V.	ohne Verfasser
OSP	Olympiastützpunkt
Pb.	Proband
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PDT	Präferenz-Dominanz-Test
proz.	prozentual, -e
R	Ruhe
re.	Rechts
s	Sekunde
SD.	Standardabweichung
Sm	Schmetterling, männlich
Sw	Schmetterling, weiblich
T	Testgruppe
TE	Trainingsexperiment
Tab.	Tabelle
u. a.	und andere, und anderes, unter anderem, unter anderen
vgl.	vergleich[e]
vs.	versus
WM	Weltmeisterschaft
z. B.	zum Beispiel

Symbolverzeichnis

δ	Steigungswinkel [°]
b	Regressionskoeffizient
F	Kraft [N]
LQ	Lateralisierungsquotient
p	Signifikanzniveau
P	Leistung [W]
r	Korrelationskoeffizient
r^2	Bestimmtheitsmaß
s	Weg [m]
t	Zeit [s]
T	Temperatur [°C]
Tu	Turbulenzgrad
u	Strömungsgeschwindigkeit [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
v	Geschwindigkeit [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
V	Volumen [m^3]
W	Arbeit [Nm]
ZF	Zugfrequenz [min^{-1}]

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Differenzierungsaspekte der Lateralität (modifiziert nach THIENES 2000).....	5
Abb. 2:	Die cerebralen Hemisphären und Kommissuren (modifiziert, nach PINEL 2001, S. 459)	7
Abb. 3:	Differenzierung der Hemisphärenasymmetrie.....	8
Abb. 4:	Differenzierung der Beinigkeit.....	12
Abb. 5:	Klassifikation der Drehseitigkeit (FETZ & MADER 1979)	15
Abb. 6:	Die Körperachsen und Körperschwerpunkt beim Schwimmen. (modifiziert nach REISCHLE 1988).....	16
Abb. 7:	Differenzierung der Händigkeit.....	21
Abb. 8:	Häufigkeitsverteilung der Seitigkeitstypen im Breiten- und Spitzensport (nach OBERBECK 1989)	27
Abb. 9:	Kraftkurven vom AKZ (n = 9; jeweils 15 Zyklen innerhalb der ersten 30 s).....	38
Abb. 10:	Mittelwerte und Standardabweichung für Zugzeit, Zugweg sowie Kraft-, Arbeits- und Leistungswerte vom AKZ für den rechten und linken Arm (* p < 0,05; n = 9).....	38
Abb. 11:	Gemittelte EMG-Kurven des M. latissimus dorsi am AKZ (n = 9; 15 Zyklen pro Proband)	39
Abb. 12:	Gemittelte EMG-Kurven des M. pectoralis major (pars sternocostalis) am AKZ (n = 9; 15 Zyklen pro Proband)	40
Abb. 13:	Gemittelte EMG-Kurven des M. triceps brachii (caput longum) am AKZ (n = 9; 15 Zyklen pro Proband)	40
Abb. 14:	Mittlere Geschwindigkeitsänderungen innerhalb eines Kraulschwimmzyklus bei einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von 1,52 m/s (9 Schwimmer mit jeweils 15 Zyklen).....	41
Abb. 15:	Verlauf der Aktivitäten vom M. pectoralis major (pars sternocostalis) links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; Ø v = 1,52 m/s)	42
Abb. 16:	Verlauf der Aktivitäten vom M. latissimus dorsi links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; Ø v = 1,52 m/s)	42
Abb. 17:	Verlauf der Aktivitäten vom M. triceps brachii (caput longum) links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; Ø v = 1,52 m/s)	43
Abb. 18:	Verlauf der Aktivitäten vom M. deltoideus (pars clavicularis) links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; Ø v = 1,52 m/s)	43
Abb. 19:	Häufigkeitsverteilung der Gesamttestanzahl pro Schwimmer (n = 124)	46

Abb. 20:	Häufigkeitsverteilung der prozentualen Differenz der mittleren Leistung (P_{mit}) beim 2. Test ($n = 82$; Querschnitt).....	50
Abb. 21:	Mittelwerte und Standardabweichungen der proz. Differenzen der mittleren Leistung (P_{mit}) für Freistil ($n = 17$), Schmetterling ($n = 12$) und gesamt ($n = 29$) über 3 Tests (Längsschnitt).....	56
Abb. 22:	Schematische Darstellung eines Strömungskanals (modifiziert nach UNGERECHTS 1992).....	62
Abb. 23:	Armkraftzuggeräte im Kraftraum des Bundesstützpunktes Schwimmen in Berlin	64
Abb. 24:	Die Unterteilung eines Zuges in mehrere Abschnitte (modifiziert nach WITT ET AL. 1997)	65
Abb. 25:	Handsteuerung der Trainingsversion vom AKZ	66
Abb. 26:	Graphische Übersicht über die zeitlichen Umfänge vom Land- und Wassertraining der zweiten Trainingsgruppe	69
Abb. 27:	Graphische Übersicht über die Zusammensetzung des Wassertrainings der zweiten Trainingsgruppe.....	70
Abb. 28:	Graphische Übersicht über die Zusammensetzung des Landtrainings der zweiten Trainingsgruppe	71
Abb. 29:	Absolute Differenzen (re. - li.) der Leistung im zeitlichen Verlauf eines KA-Tests mit Regressionsgeraden und -gleichung	74
Abb. 30:	Gemittelte Geschwindigkeitskurve des Hüftpunktes (13 Zyklen) vom Schwimmer Pb. 01 bei einer Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$, 1. Test.....	76
Abb. 31:	Verlauf der mittleren Leistung vom Schwimmer Pb. 01 im 1. Test	77
Abb. 32:	Absolute Differenzen (re. - li.) der Leistung im Verlauf des 1. KA-Tests, Pb. 01	77
Abb. 33:	Absolute und prozentuale Differenzen ($Mw. \pm SD.$) der mittleren Leistung, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01	79
Abb. 34:	Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die mittlere Leistung mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01	80
Abb. 35:	Absolute und prozentuale Differenzen ($Mw. \pm SD.$) der mittleren Kraft, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01	81
Abb. 36:	Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die mittlere Kraft mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01	81
Abb. 37:	Absolute und prozentuale Differenzen ($Mw. \pm SD.$) der maximalen Kraft, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01	82
Abb. 38:	Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die maximalen Kraft mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01	83

Abb. 39:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) des Zugweges, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01	84
Abb. 40:	Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für den Zugweg mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01	84
Abb. 41:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der Zugzeit, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01	85
Abb. 42:	Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die Zugzeit mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01	86
Abb. 43:	Gemittelte Zugfrequenzen der Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10) für die vier Messungen; a und b - signifikanter Unterschied (p < 0,05)	90
Abb. 44:	Die Gesamtleistungen (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie für die Kontrollgruppe (n = 10) für die 4 Messungen; a und b - signifikanter Unterschied (p < 0,05)	93
Abb. 45:	Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die mittlere Leistung von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10), * = signifikanter Unterschied (p < 0,05)	94
Abb. 46:	Mittlere Kräfte (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10) für die 4 Messungen; a - e = signifikanter Unterschied (p < 0,05)	96
Abb. 47:	Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die mittlere Kraft von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10), keine signifikanten Unterschiede	97
Abb. 48:	Maximale Kräfte (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie für der Kontrollgruppe (n = 10) für die 4 Messungen; a - c = signifikanter Unterschied (p < 0,05)	99
Abb. 49:	Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die max. Kraft von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10), keine signifikanten Unterschiede	100
Abb. 50:	Zugwege (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie für die Kontrollgruppe (n = 10) für die vier Messungen; a - c = signifikanter Unterschied (p < 0,05)	101
Abb. 51:	Verlauf der proz. Differenzen (Mw. und SD.) für die Zugwege von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10), * und a - d = signifikante Unterschiede (p < 0,05)	102
Abb. 52:	Zugzeiten (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie für die Kontrollgruppe (n = 10) für die 4 Messungen; keine signifikanten Unterschiede (p > 0,05)	104

Abb. 53:	Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die Zugzeit von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10), a = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)	105
Abb. 54:	Laktat (gemittelt, n = 9) der Probanden vor und nach den KA-Tests (Trainingsexperiment I), a – d = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)	107
Abb. 55:	Laktatwerte (Mw. und SD.) der Probanden der Test- (n = 7) und der Kontrollgruppe (n = 10) bei den vier Messungen für Ruhe, direkt nach der Belastung (NB) und 3 Minuten nach der Belastung (3 NB)	108
Abb. 56:	Laktat (Mw. \pm SD.) direkt nach den Kraftausdauertests für die Test- (n = 7) sowie Kontrollgruppe (n = 10), a – c = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)	109
Abb. 57:	Zugzeit, maximale Zuggeschwindigkeit, mittlere Kraft und mittlere Leistung vom Schwimmer Pb. 18 vom Training am AKZ für Schmetterling (n = 18) und Freistil (n = 18), a und b = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)	113
Abb. 58:	Absolute Differenzen (= Schmetterling – Freistil) der Parameter Zugweg, Zugzeit, max. Geschw., mittlere Kraft und mittlere Leistung vom Schwimmer Pb. 18 vom Training am AKZ für links und rechts (n = 18)	114
Abb. 59:	Absolute Differenzen (= li. - re.) der Parameter Zugweg, Zugzeit, max. Geschwindigkeit, mittlere Kraft und mittlere Leistung vom Schwimmer Pb. 18 vom Training am AKZ für Schmetterling (n = 18) und Freistil (n = 18), * = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)	114
Abb. 60:	v/t-Diagramm eines Kraulschwimmers (aus REISCHLE 1988)	117

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Zusammenfassende Darstellung (gekürzt) der wesentlichen anatomischen Links-Rechts-Asymmetrien (modifiziert nach JÄNCKE 2003a, S. 633).....	10
Tab. 2:	Zusammenfassende Darstellung der Reizklassen und Systeme, für die lateralisierte Verarbeitung festgestellt wurden (modifiziert nach JÄNCKE 2003b, S. 641).....	11
Tab. 3:	Beinpräferenz bei Grundschülern und Studenten (nach WASMUND 1976)	13
Tab. 4:	Häufigkeitsverteilung von Funktionsproben der Drehseitigkeit (Daten aus WASMUND 1976, S. 38)	16
Tab. 5:	Das Schwingen im Skilaufen als Ausdruck der Wendigkeit bei alpinen Skiläufern (n = 45) und Sportstudenten (n = 99) (Daten aus FETZ & WERNER 1981)	18
Tab. 6:	Seitwendigkeitsverhalten von Schwimmern (n = 99) bei Brust- bzw. Delphinwenden und Rückenwenden (Daten aus FETZ & WERNER 1981)	18
Tab. 7:	Absoluter und prozentualer Anteil größerer Kraftleistungen in den Extremitäten von den männlichen Links- und Rechtshändern (modifiziert nach KRÜGER 2005, S. 125)	24
Tab. 8:	Maximale bi- und unilaterale Kraft, Differenz zwischen der Summe von unilateral und dem bilateralem Wert sowie das bilaterale Defizit der beiden Gruppen für die Position 1, t-value und Korrelationskoeffizient (point-biserial correlations). (aus STRASS ET AL. 1999)	25
Tab. 9:	Seitigkeits-Konstellationstypen (nach OBERBECK 1989)	27
Tab. 10:	Alter, Körperhöhe (KH), -masse (KM), Kaderzugehörigkeit, Hauptstrecken (HS), Hauptlagen (HL) sowie die 100 m Bestzeit in Kraul der Probanden.....	31
Tab. 11:	Bremslasteinstellung am AKZ für die weiblichen (w) und männlichen (m) Probanden	36
Tab. 12:	iEMG-Werte und maximale Amplituden (peak) der acht abgeleiteten Muskeln für das AKZ (n = 9)	41
Tab. 13:	iEMG-Werte und maximale Amplituden (peak) der acht abgeleiteten Muskeln für den Strömungskanal (3. Stufe, Ø v = 1,52 m/s, n = 9)	44
Tab. 14:	Ergebnisse vom Finale über 100 m Freistil der Frauen und Männer bei den Olympischen Spielen 2004 in Athen, beste Deutsche: Torsten Spanneberg 49,71 s (15.) und Franziska van Almsick 55,57 s (11.)	45
Tab. 15:	Altersverteilung im Querschnitt (über 4 Tests)	49
Tab. 16:	Verteilung der Zugart im Querschnitt (über 4 Tests)	49
Tab. 17:	Ergebnisse des 2. Tests (Querschnitt)	50

Tab. 18:	Absolute Differenzen der Ergebnisse des 2. Tests im Vergleich zwischen Freistil und Schmetterling (Querschnitt)	51
Tab. 19:	Leistungsstärkere Seite der Schwimmer beim KA-Test (Test 2; n = 82)	51
Tab. 20:	Mittelwert und Standardabweichung der absoluten Differenzen aller Parameter getrennt nach Zugstil, -dauer und Geschlecht für den 2. Test (n = 82; Querschnitt)	53
Tab. 21:	Altersverteilung im Längsschnitt (über 4 Tests)	53
Tab. 22:	Ergebnisse der Tests 2, 3 und 4 (n = 29; Längsschnitt)	54
Tab. 23:	Absolute Differenzen der Ergebnisse der Tests 2 bis 4 (n = 29; Längsschnitt)	54
Tab. 24:	Die leistungsstärkere Seite der Schwimmer, differenziert nach der Lage (n = 29; Längsschnitt)	55
Tab. 25:	Ergebnisse der Tests 2, 3 und 4, Freistil (n = 17; Längsschnitt)	55
Tab. 26:	Ergebnisse der Tests 2, 3 und 4, Schmetterling (n = 12; Längsschnitt)	56
Tab. 27:	Häufigkeitsverteilung der Schwimmer (n = 29) für die prozentuale Differenz der mittleren Leistung für die Tests 2 bis 4 (Längsschnitt)	57
Tab. 28:	Alter, Körperhöhe, -masse, Lateralitätsquotient (LQ), Kaderzugehörigkeit, Hauptlagen und 100 m Bestzeit in Kraul (Freistil) der Probanden	61
Tab. 29:	Leistungsparameter und Kenngrößen vom Strömungskanal des OSP-Berlin (o. V. 1996)	63
Tab. 30:	Definition der Berechnungen für die einzelnen Parameter (aus WITT ET AL. 1997)	65
Tab. 31:	Bremslasteinstellung am AKZ für die Tests	68
Tab. 32:	Bremslasteinstellung am AKZ für das Zugtraining des Schwimmers Pb. 01	69
Tab. 33:	Übersicht über die zeitliche Durchführung der Tests, des spezifischen Krafttrainings und von Wettkämpfen der zweiten Trainingsgruppe	71
Tab. 34:	Messparameter und Parameter, die errechnet werden, für das AKZ	73
Tab. 35:	Einstufung des Korrelationskoeffizienten (ZÖFEL 2002)	74
Tab. 36:	Bestzeiten vom Schwimmer Pb. 01 (50 m-Bahn)	75
Tab. 37:	Mittelwert und Standardabweichung der mittleren Leistung, mittleren Kraft, max. Kraft, des Zugweges und der Zugzeit des Schwimmers Pb. 01 für die 1. Messung	76
Tab. 38:	Bremslasteinstellung am AKZ für das Zugtraining des Schwimmers Pb. 01	78
Tab. 39:	Ergebnisse (Mw. \pm SD.) der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01 für das AKZ	78

Tab. 40:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Leistung der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01	79
Tab. 41:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Kraft der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01	80
Tab. 42:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die maximale Kraft der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01	82
Tab. 43:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für den Zugweg der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01	83
Tab. 44:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die Zugzeit der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01	85
Tab. 45:	Laktatwerte des Schwimmers Pb. 01 vor und nach dem KA-Test.....	86
Tab. 46:	Wettkampfzeiten des Schwimmers Pb. 01 im Rückenschwimmen auf der Langbahn (50 m Bahn) vor und nach dem Trainingsexperiment (DM – Deutsche Meisterschaften)	87
Tab. 47:	Zugfrequenzen am AKZ der Probanden für die vier KA-Tests (T – Testgruppe, K – Kontrollgruppe)	89
Tab. 48:	Gemittelte Zugfrequenzen der Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10) für die vier Messungen sowie der p-Wert der Signifikanzprüfung (Test- vs. Kontrollgruppe)	90
Tab. 49:	Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die mittlere Leistung der 4 Tests	91
Tab. 50:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der mittleren Leistungen der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10)	93
Tab. 51:	Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die mittlere Kraft der 4 Tests von allen Probanden.....	95
Tab. 52:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der mittleren Kräfte der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10)	97
Tab. 53:	Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die maximale Kraft der 4 Tests von allen Probanden.....	98

Tab. 54:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der maximalen Kräfte der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10).....	99
Tab. 55:	Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für den Zugweg der 4 Tests von allen Probanden.....	101
Tab. 56:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der Zugwege der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10)	102
Tab. 57:	Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die Zugzeit der 4 Tests von allen Probanden.....	103
Tab. 58:	Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der Zugzeiten der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10)	104
Tab. 59:	Zeiten (Mw. \pm SD.) von vorderer Bewegungsumkehr bis Zugbeginn (t ₁) der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10).....	105
Tab. 60:	Laktat aller Probanden vor und nach den KA-Tests	106
Tab. 61:	p-Werte der Signifikanztests für die Laktatwerte	107
Tab. 62:	Gemittelte Laktatwerte (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10), R – Ruhe, NB – nach Belastung, 3 NB – 3 Minuten nach Belastung.....	108
Tab. 63:	Persönliche Bestzeiten des Schwimmers Pb. 18 auf der Langbahn (50 m) im Vergleich zu den Weltrekordzeiten (Stand Dez. 2005)	111
Tab. 64:	Mittelwerte und Standardabweichungen für die mittlere Leistung (P _{mit}), mittlere Kraft (F _{mit}), max. Kraft (F _{max}), den Zugweg (s) und die Zugzeit (t) des Schwimmers Pb. 18 für den Eingangstest.....	111
Tab. 65:	Bremslasteinstellung am AKZ für das Zugtraining des Schwimmers Pb. 18	112
Tab. 66:	Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveaus der Trainingsdaten vom Schwimmer Pb. 18 über 18 Einheiten für jeweils Freistil und Schmetterling	112
Tab. 67:	Gemittelte Ergebnisse (Mw. \pm SD.) von Kraftausdauertests (2 min, Kraul, männliche Schwimmer) vom IAT (n = 15).....	118
Tab. 68:	Gemittelte Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des Eingangstests (KA-Test, 2 min., Kraul) des eigenen Forschungsprojektes bzw. Trainingsexperimentes (n = 17).....	119
Tab. A 1:	Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des 2. Tests (n = 82) differenziert nach dem Geschlecht (Querschnitt)	143

Tab. A 2: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) und Signifikanzniveau von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t des 2. Tests im Vergleich zwischen Männern und Frauen (Querschnitt)	143
Tab. A 3: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t des 2. Tests der Gruppen Fm, Fw, Sm und Sw (Querschnitt)	143
Tab. A 4: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Gruppen Fm, Fw, Sm und Sw (Querschnitt)	144
Tab. A 5: Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des 2. Tests ($n = 82$) differenziert nach der Zugdauer (Querschnitt)	144
Tab. A 6: Absolute Seitendifferenzen der Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des 2. Tests (Querschnitt) im Vergleich zwischen den Gruppen mit einer Zugdauer von 1. Minute ($n = 38$) und von 2 Minuten ($n = 44$)	144
Tab. A 7: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t des 2. Tests der Gruppen 1F, 2F, 1S und 2S (Querschnitt)	145
Tab. A 8: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Gruppen 1F, 2F, 1S und 2S (Querschnitt)	145
Tab. A 9: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), Geschwindigkeit (v_{max}), des Zugweges (t) und der Zugzeit (t) zwischen den Gruppen 1Fm, 2Fm, 1Sm, 2Sm, 1Fw, 2Fw, 1Sw und 2Sw (Querschnitt)	146
Tab. A 10: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Tests 2 bis 4 ($n = 29$, Längsschnitt)	147
Tab. A 11: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für die Tests 2 bis 4, Freistil ($n = 17$, Längsschnitt)	147
Tab. A 12: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Tests 2 bis 4 für Freistil ($n = 17$, Längsschnitt)	147
Tab. A 13: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für die Tests 2 bis 4, Schmetterling ($n = 12$, Längsschnitt)	148
Tab. A 14: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Tests 2 bis 4 für Schmetterling ($n = 12$, Längsschnitt)	148
Tab. A 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Differenzen der mittleren Leistung (P_{mit}) für Freistil ($n = 17$), Schmetterling ($n = 12$) und gesamt ($n = 29$) über 3 Tests (Längsschnitt)	148
Tab. A 16: Häufigkeitsverteilung aller Schwimmer für die prozentuale Differenz der mittleren Leistung für die Tests 2 bis 4	148
Tab. A 17: Die mittlere Leistung der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)	151

Tab. A 18: Die mittlere Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)	151
Tab. A 19: Die maximale Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)	152
Tab. A 20: Die Zugweg der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)	152
Tab. A 21: Die Zugzeit der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)	153
Tab. A 22: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Leistung der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)	154
Tab. A 23: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)	155
Tab. A 24: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die maximale Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)	156
Tab. A 25: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für den Zugweg der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)	157
Tab. A 26: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die Zugzeit der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)	158
Tab. A 27: Trainingsdaten der Test- und Kontrollgruppe der Trainingsgruppe II	159
Tab. A 28: Die mittlere Leistung der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)	160
Tab. A 29: Die mittlere Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)	160
Tab. A 30: Maximale Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)	161
Tab. A 31: Der Zugweg der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)	161
Tab. A 32: Die Zugzeit der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)	162
Tab. A 33: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Leistung der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)	163
Tab. A 34: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)	164
Tab. A 35: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die maximale Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)	165

Tab. A 36: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für den Zugweg der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)	166
Tab. A 37: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die Zugzeit der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)	167
Tab. A 38: p-Werte der Signifikanztests der Absolutwerte von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), maximalen Kraft (F_{max}), des Zugweges (t) und der Zugzeit (t) zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen.....	168
Tab. A 39: p-Werte der Signifikanztests der absoluten Seitendifferenzen von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), maximalen Kraft (F_{max}), des Zugweges (t) und der Zugzeit (t) zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen.....	169
Tab. A 40: p-Werte der Signifikanztests der prozentualen Seitendifferenzen von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), maximalen Kraft (F_{max}), des Zugweges (t) und der Zugzeit (t) zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen.....	170
Tab. A 41: p-Werte der Signifikanztests für die Laktatwerte in Ruhe, nach Belastung und 3 Minuten nach Belastung zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen.....	171
Tab. A 42: Absolute und prozentuale Differenzen ($Mw. \pm SD.$) der Zeiten von vorderer Bewegungsumkehr bis Zugbeginn (t_1) der Test- ($n = 7$) sowie der Kontrollgruppe ($n = 10$)	172
Tab. A 43: Absolute Seitendifferenzen ($Mw. \pm SD.$) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für Schmetterling und Freistil sowie deren Signifikanzniveau für den Schwimmer Pb 18 ($n = 18$)	172
Tab. A 44: Prozentuale Seitendifferenzen ($Mw. \pm SD.$) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für Schmetterling und Freistil sowie deren Signifikanzniveau für den Schwimmer Pb 18 ($n = 18$)	172

1 Einleitung

„Bis heute rätseln die Forscher, warum etwa 90 Prozent aller Menschen eine ausgeprägte Vorliebe für ihre rechten Glieder haben. Meist zieht sich die Lateralität, die Seitigkeit, durch den ganzen Körper. Wer mit rechts die Skatkarte auf den Tisch haut, schießt auch meist mit dem rechten Fuß den Elfmeter oder zwinkert beim Flirt mit dem rechten Augenlid. Die Seitenpräferenz des Homo sapiens reicht sogar bis in seinen Orientierungssinn hinein. Ein Bergführer etwa, der im Nebel den Gipfel erklimmt, tendiert unbewusst dazu, nach rechts abzuweichen. Fußgänger, die bei Nacht und Nebel unterwegs sind, stolpern häufiger rechts ins Gebüsch.“ (DER SPIEGEL 1989, S. 254) Neben dem ebenfalls in diesem Artikel publizierten höheren Verletzungsrisiko und der kürzeren Lebenserwartung von Linkshändern, was u. a. auf Veröffentlichungen von S. COREN (1989) zurückgeht, wurden auch Anpassungen und Spezialisierungen im alltäglichen Leben aber auch im Sport erwähnt. So gelangt z. B. der Formel-1-Rennfahrer über Rechtskurven ans Ziel. Beim Eisschnelllauf, in der Leichtathletik und im Bahnradsport werden die Bahnen allerdings linksherum gelaufen bzw. gefahren. Es würde kaum einer auf die Idee kommen, bei Wettkämpfen diese Sportler rechtsherum laufen oder fahren zu lassen. Vor nun inzwischen über 100 Jahren wurde dies bei den Olympischen Zwischenspielen 1906 in Athen von den Mittel- und Langstreckenläufern verlangt. Für viele der Läufer war das Laufen der Rechtskurven ungewohnt und sie waren der Meinung, dass es „viel besser sei, linksherum zu laufen, um das rechte Bein, das bei fast allen Läufern etwas stärker sei, in den Kurven besser einsetzen zu können“ (KAMPER 1985, S. 46). In den darauf folgenden Jahren entwickelte sich eine Reformbewegung mit der Forderung einer beidseitigen Ausbildung. Es wurde vermutet, dass mit der beidseitigen Ausbildung „die vernachlässigte rechte Hirnhemisphäre besser trainiert und damit der Mensch insgesamt leistungsfähiger wird“ (OBERBECK 1989, S. 28). So entstanden in der Leichtathletik die Doppelarmwettbewerbe. Beispielsweise wurden bei den Olympischen Spielen 1912 in Stockholm der Diskus- und Speerwurf sowie das Kugelstoßen beidseitig durchgeführt und bewertet. Obwohl sich die Teilnehmer dieser Wettkämpfe speziell auf die beidseitigen Ausführungen vorbereitet hatten, betrugen die Differenzen zwischen der dominanten und nichtdominanten Seite für die ersten sechs Athleten im Kugelstoßen 17,1 %, Diskuswurf 17,0 % und Speerwurf 19,4 %. Jedoch stellt diese Wettkampfregel eine Ausnahme in der Geschichte der Olympischen Spiele dar. Als Relikt dieser Entwicklung kann heute das Steinstoßen (links und rechts) als Übung zum Erwerb des Deutschen Sportabzeichens angesehen werden.

Bei einer Betrachtung von verschiedenen Sportarten fällt auf, dass Seitigkeitsausprägungen von unterschiedlicher Bedeutung sind. So wird beispielsweise in Rückschlagsportarten wie Badminton und Tischtennis im Wettkampf ausschließlich mit

einer Hand gespielt und die Spezialisierung ist dort von Vorteil. Hingegen werden beim Schwimmen, Rudern (Skulls) und Kajak beide Körperhälften zur Ausführung der Übungselemente und Techniken benötigt. Eine stark ausgeprägte Leistungsdominanz einer Seite würde sich bei diesen Sportarten negativ in der Technik aber auch im Leistungsvermögen auswirken. Bei den Ballspielsportarten wie Fuß-, Hand-, Volley- und Basketball ist es ein Vorteil, wenn die Techniken mit beiden Füßen bzw. Händen (Armen) beherrscht werden. So ist die Zahl der Handlungsalternativen erhöht und es wird für den Gegner schwerer, die Spielaktionen vorherzusehen. Des Weiteren kann gezielt die schwächere Seite des Gegners ausgenutzt werden.

Bei den azyklischen Sportarten wie beispielsweise Tennis, Speerwurf, Kugelstoßen und Hochsprung sind also die Lateralitäten vom Ausmaß und von der Charakteristik der Sportart und Disziplin abhängig. Dagegen zeigen sich bei den zyklischen Sportarten wie dem Schwimmen (u. a. WITT, HERMSDORF 2006) und dem Kanurennsport (u. a. KRÜGER 2005) eher keine typischen Abhängigkeiten. Trotz allem wurden auch bei Sportlern zyklischer Sportarten Lateralitäten nachgewiesen (u. a. BIEDER & UNGERECHTS 1995, JENDRUSCH ET AL. 1997, STRASS ET AL. 1999, HERMSDORF & WOLFF 2002, KRÜGER 2005, WITT & HERMSDORF 2006). Bei diesen Sportarten scheinen die Ausprägungen von Lateralitäten vielmehr individueller Natur zu sein. Wenn die Seitenunterschiede bei den Leistungssportlern von zyklischen Sportarten wie z. B. dem Schwimmen nicht durch die Sportart selbst manifestiert sondern individuelle Erscheinungen sind, stellt sich die Frage, ob es möglich ist, vorhandene Seitenunterschiede im laufenden Training durch ein zusätzliches Krafttraining an Land zu verringern und damit die Wettkampfleistung zu verbessern?

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, zu überprüfen, ob ein vorhandener lateraler Kräfteunterschied der oberen Extremitäten durch ein zusätzliches Kraftausdauertraining verringert und dadurch die Wettkampfleistung der Athleten weiter verbessert werden kann. Zu diesem Zweck wurde ein 8wöchiges Trainingsexperiment mit Hochleistungssportler der Sportart Schwimmen durchgeführt

Mit dieser Arbeit sollen nicht nur bereits bekannte Tatsachen wie das Vorliegen von Lateralitäten bei Athleten zyklischer Sportarten bestätigt werden, es soll ein erster Schritt unternommen werden, um zu überprüfen, ob es möglich ist, vorhandene Lateralitäten bei hoch trainierten Athleten zu verringern und dadurch ihre Wettkampfleistung zu erhöhen.

2 Grundlagen und Begriffsabgrenzungen

2.1 Begriffsdefinitionen

Bereits über einen Zeitraum von 150 Jahren werden die Phänomene der Lateralisation erforscht. Seit 1836, als DAX über Hemisphärenschädigungen bei Patienten mit Sprachproblemen berichtete, erweiterte sich das Feld der Lateralitätsforschung beständig und die Publikationen wurden zahlreicher, so aber auch die unterschiedlichen Begriffsverwendung und -definitionen. Um eine möglichst eindeutige Begriffsbestimmung für diese Arbeit vorzunehmen, werden im Folgenden die verwendeten Termini näher erläutert und definiert.

2.1.1 Dominanz

Biologisch betrachtet ist die Dominanz die Eigenschaft von Erbfaktoren, sich gegenüber schwächeren (rezessiven) sichtbar durchzusetzen. Im allgemeinen Sprachgebrauch bedeutet „Dominanz“ soviel wie Hervortreten, Übergewicht, Überwiegen, Vorherrschen. Somit ist dann „dominieren“ die Vorherrschaft besitzen, herausragen, hervortreten, überwiegen, vorherrschen sowie beherrschen, den Ton angeben, die Herrschaft ausüben, die Oberhand haben, kontrollieren (DUDEN 2005).

ULLMANN (1974) benutzt den Terminus „Dominanz“ in der wissenschaftlichen Literatur wie im allgemeinen Sprachgebrauch. Er verwendet diesen sowohl zur Kennzeichnung der Überlegenheit einer Seite im Bereich des Gehirns als auch in Bezug auf die Lateralitätsausprägung von paarig angelegten Organen wie beispielsweise den Extremitäten.

Bei einer Diagnose von Lateralitäten bei den oberen und unteren Extremitäten stößt man auf eine Problematik, die unter anderem STEINGRÜBER (1971), SCHILLING (1979) und OBERBECK (1989) beschrieben haben: die Auswahl der Messmethode zur Bestimmung von Seitigkeitsunterschieden. Nach den oben genannten Autoren sollte unterschieden werden zwischen Tests, die den Alltagsgebrauch prüfen, sowie Tests, die Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer und Geschicklichkeit, also die konditionellen und koordinativen Fähigkeiten, messen. Es sollte demzufolge bei der Hand- und Beinbevorzugung die Präferenzdominanz von der Leistungsdominanz abgegrenzt werden.

Unter der Präferenzdominanz wird die spontane Bevorzugung einer Hand bzw. eines Beines bei bestimmten Aufgabenstellungen (STEINGRÜBER 1971) sowie eine Seitenbevorzugung unter dem Einfluss von Alltagsbewegungen und -handlungen oder Pressionen (Druck oder Zwang) der Umwelt (OBERBECK 1989) verstanden.

Die Leistungsdominanz beschreibt die Seitenbevorzugung, die unter dem Einfluss höchster Anforderungen an die konditionellen oder koordinativen Fähigkeiten ausgeprägt ist (OBERBECK 1989). Sie wird durch Tätigkeiten ermittelt, bei denen die Kraft, Ausdauer, Bewegungsgenauigkeit und -geschicklichkeit gemessen werden (SCHILLING 1979). Zusammenfassend wird die Dominanz für diese Arbeit wie folgt definiert:

Definition: Dominanz ist die Überlegenheit einer Seite im Bereich des Gehirns sowie von paarig angelegten Organen und Extremitäten. Bei den Extremitäten können die Präferenz- sowie die Leistungsdominanz unterschieden werden. Erstere kennzeichnet die Bevorzugung einer Hand bzw. eines Beines unter dem Einfluss von Alltagsbewegungen und -handlungen oder Umweltzwängen. Leistungsdominanz ist durch eine Seitenbevorzugung unter dem Einfluss höchster Anforderungen an die konditionellen oder koordinativen Fähigkeiten gekennzeichnet.

2.1.2 Lateralität, Seitigkeit

Allgemein kommt der Begriff „Lateralität“ von lateral (lat.) und bedeutet „seitlich, seitwärts [gelegen]“. So wird unter der „Lateralität“ nach dem DUDEN (2005) sowie nach dem BROCKHAUS (2001) das „Vorherrschen, die Dominanz einer Körperseite (z. B. Rechts- oder Linkshändigkeit)“ (DUDEN 2005) verstanden.

Des Weiteren wird die „Seitigkeit“ oft im Zusammenhang mit der Lateralität genannt und verwendet. In der Literatur werden die Begriffe „Lateralität“ und „Seitigkeit“ überwiegend synonym gebraucht. So bezeichnet DRENKOW (1960) in Anlehnung an LUDWIG (1932) und KNOLL (1954) mit dem Begriff „Seitigkeit“ die funktionelle Dominanz oder das morphologisch-anatomische Überwiegen einer Extremität bzw. Körperhälfte. DRENKOW differenziert diese in die morphologische und die funktionelle Seitigkeit. Für ihn ist die morphologische Seitigkeit das Überwiegen einer Körperhälfte, eines paarigen Organs oder Gliedes in Masse, Gewicht und Struktur. Unter funktioneller Seitigkeit versteht er, dass eine Extremität oder Seite in der Funktion bevorzugt wird (DRENKOW 1960, S. 1085).

Für ULLMANN (1974) und OBERBECK (1989) ist die Seitigkeit nicht nur die Dominanz einer Extremität oder Körperhälfte, für sie ist die Seitigkeit der Oberbegriff für alle Kennzeichen von Asymmetrie bei paarig angelegten Organen bzw. „zweier in spiegelbildlicher Anordnung auftretender Bereiche eines unpaarigen Organs, welche sich auf die rechte und linke Körperhälfte verteilen“ (ULLMANN 1974, S. 25). OBERBECK (1989) differenziert die Seitigkeit zusätzlich zu der morphologischen und funktionelle Seitigkeit noch in die „sensorische Seitigkeit“. Darunter versteht OBERBECK die Asymmetrie in Bezug auf die

Augen, Ohren und in Bezug auf die Drehbewegungen. Die sensorische Lateralität steht in einem sehr engen Verhältnis zur Hemisphärenlateralität.

Der Psychologe ULLMANN (1974) hingegen untergliedert die Lateralität in genuine Lateralität, Ambilateralität und genuine laterale Superiorität. Unter der genuinen Lateralität versteht er „die weder pathologisch noch durch Milieufaktoren veränderte Ausprägungsform“ (ULLMANN 1974, S. 25). Die Ambilateralität bezeichnet „morphologisches und bzw. oder funktionelles Gleichmaß beider Seiten“ (ULLMANN 1974, S. 26) und die genuine laterale Superiorität kennzeichnet „eine weder pathologisch noch milieubedingte Vorrangstellung der einen unter qualitativem oder quantitativem Aspekt“ (ULLMANN 1974, S. 26).

Der Untersuchungsgegenstand der Lateralitätsforschung in den Bewegungswissenschaften sind die Erfolgsorgane der Motorik, also die Extremitäten. In anderen Forschungsdisziplinen wie beispielsweise der Psychologie und Medizin ist es das Gehirn mit seinen beiden Hemisphären. Dort wird unter Lateralität die Hemisphärenasymmetrie verstanden, diese kann wiederum unterteilt werden in die anatomische und funktionelle Hemisphärenasymmetrie.

Die Unterteilungen und Differenzierungen der Lateralität ist in Anlehnung an THIENES (2000) zusammenfassend in der Abb. 1 dargestellt.

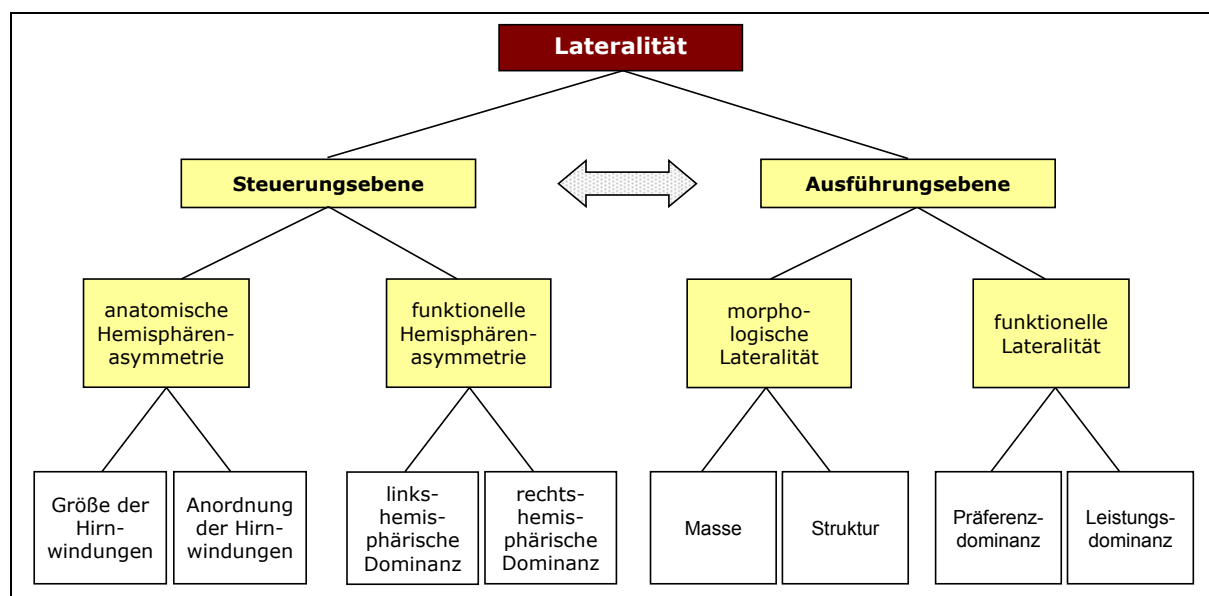


Abb. 1: Differenzierungsaspekte der Lateralität (modifiziert nach THIENES 2000)

Im Unterschied zur Dominanz, der hauptsächlich funktionelle Unterschiede zugeordnet werden, sind bei der Lateralität zusätzlich die anatomischen und morphologischen Asymmetrien zu finden.

Aus den obigen Ausführungen ergibt sich für diese Arbeit folgende Definition für die Lateralität (Seitigkeit):

Definition: Die Lateralität (Seitigkeit) ist das Dominieren einer Körperseite bzw. Extremität oder das Vorhandensein einer Asymmetrie. Sie kann unterteilt werden in morphologische, funktionelle und sensorische Lateralität. Unter morphologischer Lateralität wird das Überwiegen einer Körperhälfte, eines paarigen Organs oder Gliedes in Masse, Gewicht und Struktur verstanden. Die funktionelle Lateralität ist das Bevorzugen einer Extremität oder Seite. Die Asymmetrie in Bezug auf Sehen, Hören und Drehbewegungen ist als sensorischen Lateralität zu verstehen.

2.2 Lateralitätsphänomene

Der menschliche Körper scheint in Form und Funktion symmetrisch zu sein, tatsächlich aber treten zwischen den beiden Körperhälften sowohl anatomische als auch funktionelle Unterschiede auf. Beispielsweise bevorzugen die meisten Menschen für viele Tätigkeiten im Alltag die rechte Hand wie z. B. für das Schreiben mit einem Stift oder für das Schneiden mit einer Schere.

Im Laufe der Ontogenese zeigen sich beim Menschen unterschiedliche Lateralitäten. Diese sind die Händigkeit, Beinigkeit (auch Füßigkeit) sowie die Drehseitigkeit. Seitendifferenzen treten aber nicht nur auf der Ebene der ausführenden Organe und Extremitäten auf, sondern auch auf der Ebene der Sensoren und der des Zentralnervensystems. Hier sind die Äugigkeit (visuelle Lateralität), Ohrigkeit (auditive Lateralität) sowie die Hemisphärenlateralität (auch Hirnigkeit) zu nennen. OBERBECK bezeichnet all diese Erscheinungen als Seitigkeitsphänomene (OBERBECK 1989).

Neben den oben genannten sind noch weitere motorische Asymmetrien untersucht und publiziert worden, so u. a. die funktionelle Asymmetrie der Gesichtsmuskulatur (CACIOPPO, PETTY 1981), des Gaumensegels (KEMPF 1976), der Stimmbänder (MALJUTIN 1931), die Seitenpräferenz beim Kauen (HOOGMARTENS, CAUBERGH 1987) sowie die Züngigkeit (BLOCK ET AL. 1957).

In den folgenden Kapiteln werden die Hemisphärenlateralität, Beinigkeit (Füßigkeit), Drehseitigkeit (Wendigkeit) kurz sowie die Händigkeit detailliert beschrieben. Des Weiteren wird versucht, eindeutige Definitionen zu erarbeiten. Für die Händigkeit werden einzelne Untersuchungsmethoden mit den jeweiligen Ergebnissen vorgestellt.

2.2.1 Hemisphärenasymmetrie und Hemisphärenlateralität

Das menschliche Gehirn ist ein Organ mit zwei nahezu gleich aussehenden Hälften, die als Hemisphären bezeichnet werden. Die beiden Hemisphären sind durch die Fissura longitudinalis cerebri (Hirnlängsfurche) getrennt. Dennoch sind sie durch ein dickes Nervenbündel, dem Corpus callosum (Balken), sowie durch diverse Kommissuren (z. B. Commissura posterior und Commissura anterior) funktionell miteinander verbunden. Die Anatomie des Gehirns mit ausgewählten Beschriftungen ist in Abb. 2 illustriert. In der linken Hälfte der Abbildung ist ein Frontalschnitt des menschlichen Gehirns zu sehen, der die grundsätzliche Dualität des Vorderhirns zeigt. Ein Mediansagittalschnitt des menschlichen Gehirns zeigt die rechte Hälfte der Abbildung. Hier ist die Lage des Corpus callosum und der anderen Kommissuren zu erkennen.

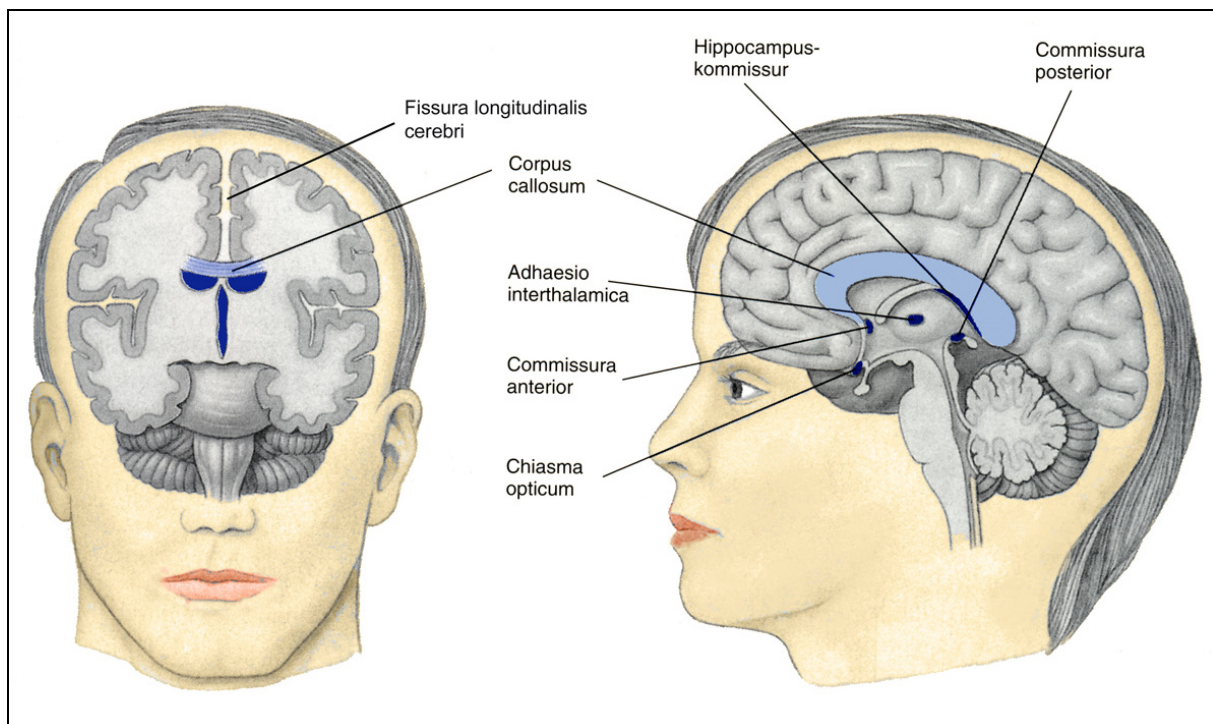


Abb. 2: Die cerebralen Hemisphären und Kommissuren (modifiziert, nach PINEL 2001, S. 459)

Im Laufe der Ontogenese des Menschen entwickeln und spezialisieren sich die Hemisphären. Dabei kommt es zu anatomischen Asymmetrien und funktionellen Lateralisierungen.

ULLMANN (1974) verwendet in seiner Arbeit den Begriff der „zerebralen Dominanz“ und versteht darunter „den Vorzug einer Großhirn-Hemisphäre bei spezifischen Aktivitäten“ (ULLMANN 1974, S. 43). Er geht davon aus, „dass die Funktionen der Motorik, Sensorik und Sprache in einer unterscheidbaren asymmetrischen Art auf die Hemisphären verteilt sind“ (ULLMANN 1974, S. 43). FISCHER (1988), der in seiner Arbeit auf die cerebrale Lateralisation (Hemisphärenlateralisation) eingeht, gibt dem Begriff der „cerebralen

Funktionslateralisation“ Vorrang vor dem Begriff der „Funktionsdominanz“. OBERBECK (1989) wiederum zählt zu den Seitigkeitsphänomenen die Hemisphärendominanz. Unterschiedlich in den Arbeiten sind die Begrifflichkeiten, aber gemein im weiteren Sinne sind die Definitionen.

Im sportwissenschaftlichen Lexikon bezeichnet FISCHER (2003) die Hemisphärendominanz als „das Phänomen der funktionellen Asymmetrie (Lateralität) des Gehirns“ (FISCHER 2003, S 250). Demzufolge können funktionelle Asymmetrien der Hemisphären auch als Hemisphärenlateralität benannt werden.

Die Hemisphärenasymmetrie soll als Oberbegriff für alle Ungleichmäßigkeiten des Gehirns verstanden werden. Diese wird untergliedert in die anatomische und funktionelle Hemisphärenasymmetrie. Zur besseren Abgrenzung wird die funktionelle Hemisphärenasymmetrie auch als Hemisphärenlateralität bezeichnet. JÄNCKE (2003b) fasst unter den funktionellen Asymmetrien „Leistungsunterschiede zwischen den Hemisphären in der Wahrnehmung, Kognition sowie der motorischen Kontrolle“ (JÄNCKE 2003b, S. 635) zusammen. Es kann eine links- bzw. rechtshemisphärische Dominanz vorliegen. Dementsprechend kann die Hemisphärenlateralität differenziert werden in die links- und rechtshemisphärische Dominanz. Unter anatomischen Hemisphärenasymmetrien versteht JÄNCKE (2003a) „makroskopische und mikroskopische anatomische (zyto-, myelo-, glio- oder angioarchitektonische) Unterschiede zwischen beiden Hemisphären“ (JÄNCKE 2003a, S. 625). Die Differenzierung der Hemisphärenasymmetrie ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

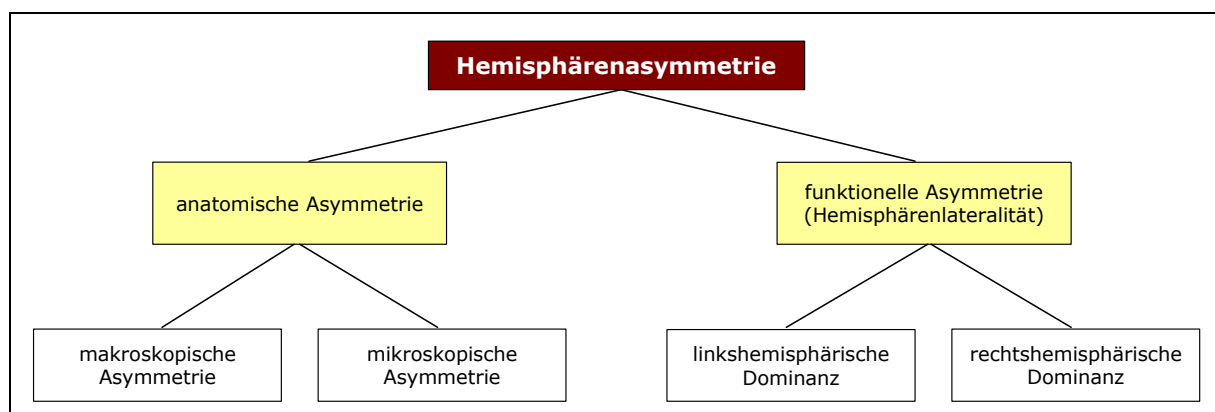


Abb. 3: Differenzierung der Hemisphärenasymmetrie

Mit der linkshemisphärischen Dominanz ist nicht der Terminus „Dominante Hemisphäre“ gemeint, ein Terminus, mit dem früher die linke Hälfte des Großhirns bezeichnet wurde. Er basiert auf der mittlerweile widerlegten Annahme, dass die linke Großhirnhälfte bei allen komplexen Aktivitäten dominiert. Dementsprechend wurde früher die rechte Großhirnhälfte auch als die „Nichtdominante Hemisphäre“ bezeichnet.

Vielmehr wird heute davon ausgegangen, dass die für eine Funktion dominierende Hemisphäre keineswegs alleine die entsprechende Funktion kontrolliert. „So ist mittlerweile klar, dass selbst Sprachinformationen nicht ausschließlich in der sprachverarbeitungsdominanten Hemisphäre verarbeitet werden, sondern auch in der hierfür nicht spezialisierten Hemisphäre.“ (JÄNCKE 2003b, S. 645)

Aus den obigen Ausführungen zu den Hemisphärenasymmetrien ergibt sich für diese Arbeit folgende Definition:

Definition: *Hemisphärenasymmetrie ist die Ungleichmäßigkeit in der Anatomie sowie der Unterschied in der Leistung in diversen Funktionen beider Hemisphären. Die Hemisphärenasymmetrie kann untergliedert werden in die anatomische Asymmetrie und in die Hemisphärenlateralität (funktionelle Asymmetrie). Letztere bezeichnet die Dominanz einer Hemisphäre in der Wahrnehmung, Kognition und in der motorischen Kontrolle.*

Um anatomische Hemisphärenasymmetrien zu finden, wurden in den Anfängen der Hirnforschung Gehirne von Verstorbenen untersucht. Erst mit der Erfindung nichtinvasiver bildgebender Verfahren konnte auch am lebenden Menschen nach Hemisphärenasymmetrien gesucht werden. Bildgebende Verfahren sind u. a. die Röntgenkontrastdarstellungen (Pneumencephalographie und Angiographie), die Computertomographie (CT), die Kernspintomographie (auch NMR-Tomographie) sowie die Positronen-Emissions-Tomographie (PET). Auf die einzelnen Untersuchungsmethoden soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

Forschungsmethoden und Tests zur Messung von Hemisphärenlateralitäten (funktionelle Hemisphärenasymmetrien) beziehen sich auf die Funktionen des Sehens, Hörens, Tastens, der Bewegung, des Gedächtnisses sowie auf die sprachlichen und räumlichen Fähigkeiten. So wird bspw. für die Sprachlateralität der Natriumamyltaltest (auch Wada-Test genannt) sowie der dichotische Hörtest eingesetzt. Aber auch bei der funktionellen Hemisphärenlateralitätsforschung kommen bildgebende Verfahren zum Einsatz, so z. B. die funktionelle Kernspintomographie (fMRT). Des Weiteren werden für physiologische und neuropsychologische Messungen die Elektroencephalographie (EEG), die Elektromyographie (EMG) sowie die Elektrooculographie (EOG) eingesetzt. Eine Übersicht mit detaillierten Beschreibungen aller Forschungsmethoden ist in PINEL (2001) zu finden.

In vielen Studien werden zwei oder auch mehr Forschungsmethoden kombiniert, um so die Zusammenhänge und die Lokalisation gewisser Areale besser sichtbar machen zu können. Eine Kombination ist z. B. das EEG mit der NMR-Tomographie. Dabei kann die

Verteilung der Amplituden des EEG-Signals auf der Oberfläche des Kernspintomogramms sichtbar gemacht werden.

Die erste lateralisierte Funktion wurde von DAX (1836) und von BROCA (1865) beschrieben. Es war die Sprache, die hauptsächlich in der linken Hemisphäre lokalisiert ist. In den darauf folgenden Jahrzehnten wurden weitere funktionelle, aber auch anatomische Hemisphärenasymmetrien gefunden. In neueren Studien wie beispielsweise von AMUNTS ET AL. (1997 und 2000) wurde über ein Korrelat zwischen der Händigkeit und der Tiefe des Sulcus centralis berichtet. Eine Übersicht über die anatomischen Hemisphärenasymmetrien mit entsprechenden Befunden und Zusammenhängen ist in Tab. 1 zu finden.

Tab. 1: Zusammenfassende Darstellung (gekürzt) der wesentlichen anatomischen Links-Rechts-Asymmetrien (modifiziert nach JÄNCKE 2003a, S. 633)

Anatomische Struktur	Typische Asymmetrie	Spezielle Befunde
Planum temporale	links > rechts (Volumen)	<ul style="list-style-type: none"> • bei Rechtshändern stärkere L>R-Asymmetrie als bei Linkshändern • bei Linkshändern Tendenz zur Symmetrie • L>R-Asymmetrie bei Kindern im Alter von 8 Jahren in vollem Ausmaß vorhanden • keine Konkordanz im Ausmaß und der Richtung der Planum temporale Asymmetrie • bei absoluten hörenden Musikern exzessive L>R-Asymmetrie
Frontale Weite	rechts > links	etwas ausgeprägter bei Rechtshändern
Okzipitale Weite	links > rechts	etwas ausgeprägter bei Rechtshändern
Gyrus frontalis inferior Pars triangularis	links > rechts (Volumen)	bei Rechtshändern stärker als bei Linkshändern
Sulcus centralis	links > rechts (Tiefe auf Transversalschnitten)	<ul style="list-style-type: none"> • bei rechtshändigen Männern stärker als bei linkshändigen • L>R-Asymmetrie bei professionellen Musikern geringer als bei Nichtmusikern • Sulcus-centralis-Tiefe korreliert mit dem Alter, bei dem Musiker mit dem musikalischen Training begonnen haben
Kleinhirn	rechts > links (Volumen)	bei Rechtshändern stärker als bei Linkshändern

Bei den funktionellen Hemisphärenasymmetrien (Hemisphärenlateralitäten) ist im Laufe der Zeit ein Katalog entstanden über die einzelnen Systeme und Reizklassen mit ihren lateralisierten Verarbeitungsorten. Eine zusammenfassende Darstellung über die funktionelle Hemisphärenasymmetrie (Hemisphärenlateralität) ist in Tab. 2 zu finden.

Auf Grund der immer besser werdenden Untersuchungsmethoden mit feineren Auflösungsmöglichkeiten konnten in den neusten Studien wie z. B. KIM ET AL. (1993), HAALAND, HARRINGTON (1996), AMUNTS ET AL. (1997, 2000) und JÄNCKE (2000, 2001) Zusammenhänge zwischen den anatomischen und funktionellen Asymmetrien der Hemisphären untersucht werden. Somit wurde der sehr enge Zusammenhang zwischen der anatomischen und der funktionellen Asymmetrie nachgewiesen und bestätigt.

Tab. 2: Zusammenfassende Darstellung der Reizklassen und Systeme, für die lateralisierte Verarbeitung festgestellt wurden (modifiziert nach JÄNCKE 2003b, S. 641)

Reizklasse / System	Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
visuell	<ul style="list-style-type: none"> • Buchstaben • Wörter • Lokale Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexe geometrische Muster • Tiefeninformationen, stereoskopisches Sehen • Globale Informationen • Gesichter • Farben
auditiv	<ul style="list-style-type: none"> • Sprachlaute • Kurz aufeinander folgende auditive Reize 	<ul style="list-style-type: none"> • Musik • Umgebungsgeräusche • Länger aufeinander folgende auditive Reize
somatosensorisch		Taktiler Erkennen komplexer Muster
motorisch	Feinmotorik, Zielmotorik	Haltung, Stand
Systeme	<ul style="list-style-type: none"> • Sprache (allgemein) • Emotion (allgemein) • Verbales Gedächtnis • Arithmetik • Verarbeitung sequenzieller Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosodie • Emotion (Abwehr) • Visuelles Gedächtnis • Aufmerksamkeit (übergeordnet) • Verarbeitung von Mustern

2.2.2 Beinigkeit, Füßigkeit

Den unteren Extremitäten wurde in der Seitigkeits- bzw. Lateralitätsforschung im Vergleich zu den oberen Extremitäten von Beginn an weniger Aufmerksamkeit gewidmet. Die Beinigkeit blieb weitgehend unbeachtet, weil man sich ihrer im täglichen Leben kaum bewusst wurde und wird. Nur im Sport finden sich Prävalenzen für eine Beinbevorzugung.

Die Begriffe „Beinigkeit“ und „Füßigkeit“ werden von einigen Autoren synonym verwendet (wie u. a. ULLMANN 1979; FISCHER 1988), andere Autoren wiederum unterscheiden die zwei Begriffe bzw. favorisieren einen der beiden wie beispielsweise OBERBECK (1989) und FETZ (1993). Ein Argument für eine Trennung der beiden Begriffe ist die deutliche Sichtbarkeit einer Dominanz bei großmotorischen Bewegungsabläufen im Vergleich zu kleinmotorischen (FETZ 1993). Aus diesem Grund bevorzugt FETZ den Begriff der „Beinigkeit“. OBERBECK (1989) dagegen argumentiert: „Dem Begriff „Beinigkeit“ würde der Name „Armigkeit“ entsprechen. Er fehlt im deutschen Sprachschatz und ist auch in der medizinischen Fachsprache nicht gebräuchlich. Im englischen Sprachraum und wissenschaftlichen Veröffentlichungen wird analog zu „handedness“ ausschließlich der Begriff „footedness“ verwendet.“ (OBERBECK 1989, S. 35) Daher verwendet OBERBECK den Begriff „Füßigkeit“.

In dieser Arbeit erfolgt keine Trennung beider bzw. das Favorisieren eines Begriffes. Es werden beide gleichbedeutend gebraucht. So wird in den nachfolgenden Kapiteln von „Beinigkeit“ aber auch von „Füßigkeit“ gesprochen.

Nach LUDWIG (1932), der Untersuchungen an Tieren wie Menschen zur Frage der Lateralität durchführte, ist die Füßigkeit die „angeborene Disposition zur Bevorzugung eines Beines bei allen Tätigkeiten, die einbeinig sind (z. B. Standbein der Vögel) oder bei

denen ein Bein eine führende Rolle innehat (z. B. Schlittern)" (LUDWIG 1932, S. 312). Er orientiert sich bei seiner Definition stark an der von STIER (1911) zur Händigkeit. Ebenso LANDGRAF & STEINBACH (1963), die die Beinigkeit „als die Disposition, koordinative Bewegungen mit dem bevorzugten Bein lieber, kräftiger, schneller und geschickter auszuführen" (LANDGRAF & STEINBACH 1963, S. 269), determinieren. Für FETZ (1993) ist die Beinigkeit „die funktionelle Bevorzugung eines Beines bei der Ausführung einbeiniger motorischer Aktivitäten" (FETZ 1993, S. 267).

LANDGRAF & STEINBACH (1963) weisen in ihrer Arbeit darauf hin, dass der Begriff „Beinigkeit" differenziert werden müsse in den Faktor „Kraft" und den Faktor „Geschicklichkeit". Wie bei der Händigkeit sollte auch bei der Bestimmung der Lateralität der Beine eine Unterteilung erfolgen in die Präferenz- und Leistungsdominanz. Erstere spiegelt die Geschicklichkeit des Beines und des Fußes wider. Die Leistungsdominanz ist gekennzeichnet durch eine höhere Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit. Hauptsächlich steht der Kraftfaktor bei einer Festlegung der Beinigkeit bei sportlichen Bewegungen im Vordergrund mit Ausnahme einiger weniger Sportarten wie beispielsweise Fußball (LANDGRAF & STEINBACH 1963).

Die Beinigkeit kann je nach Bevorzugung einer Seite oder Ausgeglichenheit der beiden Beine unterteilt werden in Rechts- und Linksbeinigkeit sowie in die Beidbeinigkeit. Eine schematische Darstellung der Differenzierung der Beinigkeit ist in der Abb. 4 zu sehen.

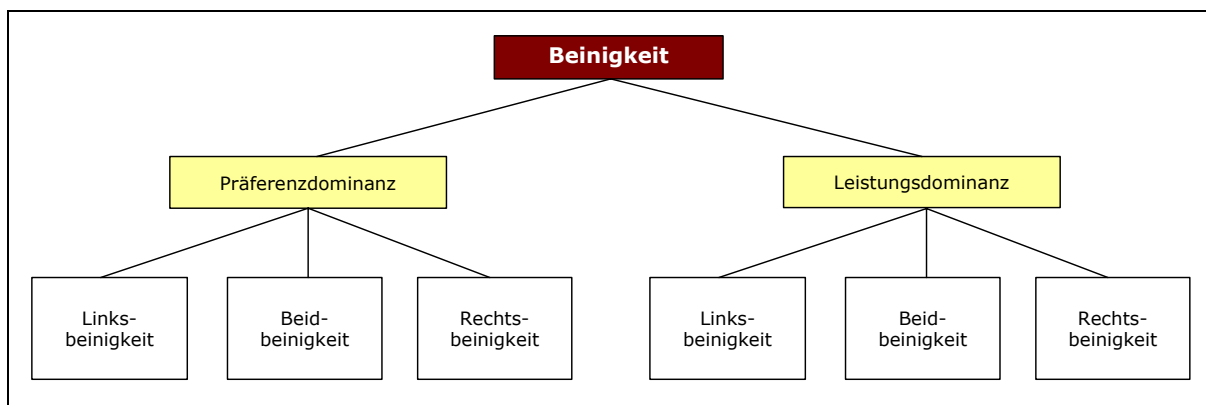


Abb. 4: Differenzierung der Beinigkeit

Aus den obigen Ausführungen ergibt sich für diese Arbeit folgende Definition:

Definition: Beinigkeit (Füßigkeit) ist die Bevorzugung eines Beines bei Ausführung von einbeinigen motorischen Aktivitäten. Sie kann unterteilt werden in Links- und Rechtsbeinigkeit sowie Beidbeinigkeit. Bei der Bestimmung muss die Präferenzdominanz von der Leistungsdominanz differenziert werden.

Für die Bestimmung der Beinigkeit sind in der Literatur verschiedenste Testverfahren zu finden. So befragte bspw. SPILLE (1959) Sportler bezüglich der Präferenz des rechten und linken Beines in verschiedenen Disziplinen bzw. Tätigkeiten (10 Items). LANDGRAF & STEINBACH (1963) untersuchten bei insgesamt 1675 leichtathletischen Leistungssportlern den Absprung beim Weit- und Hochsprung sowie beim Hürdenlauf, um auf die Bevorzugung eines Beines zu schließen. Von den untersuchten Personen waren 1498 (89,4 %) Rechtshänder und 177 (10,6 %) Linkshänder und für die Absprünge benutzten 42 % das rechte und 58 % das linke Bein. Eine gekreuzte Asymmetrie – Rechtshänder und Linksbeiner sowie Linkshänder und Rechtsbeiner – wiesen 54,9 % und eine gleichseitige Bevorzugung 45,1 % auf. Somit gibt es in der untersuchten Population bei der Bestimmung der Leistungsdominanz mehr Links- als Rechtsbeiner. Die Präferenzdominanz, also die Frage nach dem geschickteren Bein, bleibt in dieser Untersuchung offen, wie auch die Autoren selbst anmerken: „Hier muss das prävalierte Bein wohl in erster Linie das stärkere Bein sein und die größere Schnellkraft besitzen. Die alleinige Frage nach einem eventuell geschickteren Bein dürfte bei den angeführten Sportarten aber in jedem Falle offen bleiben.“ (LANDGRAF, STEINBACH 1963, S. 272)

WASMUND (1976) verwendete in ihrer Untersuchung an 333 Sportstudenten (20-22 Jahre) und 175 Grundschulern (6-7 Jahre) eine kleine Testbatterie mit den in Tab. 3 stehenden 7 Tests, die ausgeführt wurden. Die sieben Tests sowie die Ergebnisse der Studie finden sich in Tab. 3.

Tab. 3: Beinpräferenz bei Grundschulern und Studenten (nach WASMUND 1976)

Testaufgabe	links bevorzugt [%]		keine Bevorzugung [%]		rechts bevorzugt [%]	
	Stud.	Schül.	Stud.	Schül.	Stud.	Schül.
Weitsprung: Absprungbein	40	35	6	10	54	55
Hochsprung: Absprungbein (Scher- und Hocksprung)	80	42	2	4	18	54
Hinkbein	19	25	24	24	57	51
Startstellung (vorderes Bein)	42	35	6	5	52	60
Ausfallschritt (vorderes Bein)	27	34	5	3	68	63
Standwaage (Standbein)	33	39	15	14	52	47
Fußball (Stoßbein)	8	13	16	2	76	85

WASMUND (1976) schlussfolgert aus den Ergebnissen, dass „die Beinigkeit sehr viel weniger rechts gebunden scheint als die Händigkeit“ (WASMUND 1976, S. 41). Insgesamt wird das rechte Bein für die verschiedenen Tätigkeiten nur von 54 % der Studenten und 59 % der Kinder (links: 36 % bzw. 34 %) bevorzugt.

HÜHNE (1979) untersuchte in der Studie zum einen die Präferenzdominanz und zum anderen die Leistungsdominanz der Beine. Zur Präferenzdominanz wurde ein Fragebogen mit zehn Aufgaben zusammengestellt, die von den Probanden als Gestikproben oder Funktionsproben erfüllt werden sollten. HÜHNE stellte fest, dass sich die Erhebung als

wenig wiederholungsstabil und als sehr situationsabhängig erwies. Für die Leistungsdominanz wurde ein Geschicklichkeitstest für die Beine entwickelt, das Luftballon-Zielpunktieren, welches sich bei seinen Untersuchungen als sehr geeignet herausstellte. Dieses Verfahren entstand in Anlehnung an die Hampelmannfigur des Leistungs-Dominanz-Tests (LDT) der Hände von SCHILLING (vgl. SCHILLING 1979).

FETZ (1993) wiederum nutze für die Bestimmung der Beinigkeit das Ballführen, was er von WARTUSCH (1979) übernommen hat, sowie das einbeinige Tapping. Mit diesen beiden Tests wurden „einerseits ein Komplex aus Bewegungsgenauigkeit und Schnelligkeit (Ballführen) und andererseits zyklische Bewegungsschnelligkeit (einbeiniges Tapping) in relativ großmotorischen Abläufen in das Prüfverfahren mit einbezogen“ (Fetz 1993, S. 268).

Weitere Ergebnisse aus Untersuchungen zur Beinigkeit werden im Kapitel 2.3 Lateralität und Sport präsentiert. Eine detaillierte Übersicht zu Untersuchungsmethoden und Studien ist bei OBERBECK (1989) zu finden. Er unterteilt diese nochmals in Studien zum Absprung (Leistungsdominanz) und Studien zur Beingeschicklichkeit (Präferenzdominanz).

2.2.3 Drehseitigkeit

Ein weiteres Lateralitätsphänomen ist die Drehseitigkeit bzw. die Wendigkeit. Was die Gemeinsamkeit und was der Unterschied beider Begriffe ist, wird im folgenden Kapitel geklärt. Ferner werden einzelne Untersuchungsmethoden und deren Ergebnisse dargestellt.

STEIN (1959) spricht vom natürlichen Drehsinn, SEIFERT (1968), FETZ (1969) sowie WASMUND (1976) von einer Wendigkeit und FETZ & MADER (1979) von der Drehseitigkeit. FETZ (1969) ist einer der ersten, der die Wendigkeit zu den Seitigkeitsphänomenen zählte. Für ihn ist die Wendigkeit „die funktionelle Bevorzugung einer Seite bei Drehungen um die Längsachse, etwa beim Kehrtmachen oder beim Schwingen im alpinen Schilau“ (FETZ 1969, S. 80). FETZ & MADER (1979) weisen darauf hin, dass der Terminus „Wendigkeit“ aufgrund seiner Mehrdeutigkeit Nachteile mit sich bringt und verwenden stattdessen den Begriff der „Drehseitigkeit“. Sie differenzieren den Oberbegriff „Drehseitigkeit“ in die Wendigkeit (i. e. S.) und in die Seitwendigkeit.

Wendigkeit (i. e. S.) bezeichnen diese Autoren als eine Bevorzugung einer Drehrichtung um die Längsachse. Sie differenzieren die Wendigkeit weiter in die Links-, Rechts- und Beidwendigkeit.

Seitwendigkeit wird von FETZ & MADER (1979) als die „Bevorzugung einer Richtung bei Drehungen um die Tiefenachse“ (FETZ & MADER 1979, S. 111) definiert (Drehungen links

oder rechts seitwärts). Auch hier kann wie bei der Wendigkeit (i. e. S.) eine Differenzierung in die Links- und Rechtsseitwendigkeit erfolgen. Wenn keine Bevorzugung einer Drehrichtung vorliegt, wird von einer Beidseitwendigkeit gesprochen. Eine Übersicht der Klassifikation der Drehseitigkeit nach FETZ & MADER (1979) ist in Abb. 5 zu sehen.

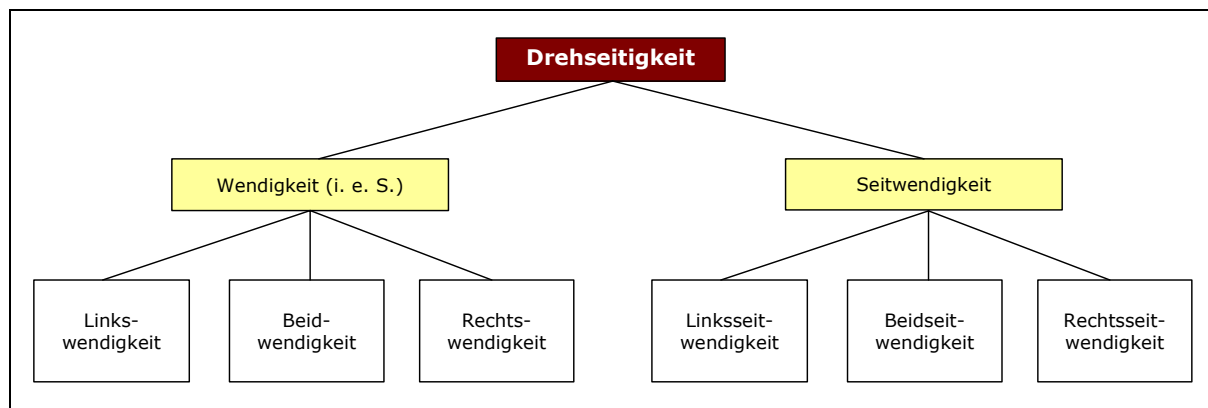


Abb. 5: Klassifikation der Drehseitigkeit (FETZ & MADER 1979)

Bei Drehungen um die Breitenachse kann entweder ein Salto vorwärts oder ein Salto rückwärts ausgeführt werden. Da dies aber keine Seitenwahl darstellt wie bei Drehungen um die Längs- und Tiefenachse, haben diese Drehungen keinen Bezug zur Seitigkeit.

Aus den obigen Ausführungen ergibt sich folgende Definition für die Drehseitigkeit in Anlehnung an die von FETZ & MADER (1979):

Definition: Drehseitigkeit ist die funktionelle Bevorzugung einer Seite bei Drehungen um die Längs- bzw. Tiefenachse. Die Drehseitigkeit kann unterteilt werden in die Wendigkeit (i. e. S.) und in die Seitwendigkeit. Erstere bezieht sich auf die Bevorzugung einer Drehrichtung um die Längsachse und letztere auf die um die Tiefenachse.

Der menschliche Körper weist je eine Längs-, Tiefen- und Breitenachse auf, um die Drehbewegungen möglich sind, wie es in Abb. 6 zu sehen ist. In vielen Sportarten finden sich Elemente und Techniken, die Drehungen um eine oder mehrere Achsen beinhalten. Beispielhaft hierfür sind das beim Hoch- und Stabhochsprung die Drehungen (Breiten- und Längsachse), beim Turnen und Wasserspringen die Schrauben (Längsachse) und Salti (Breitenachse), beim Turnen die Handstützüberschläge seitwärts (Tiefenachse) sowie im Eiskunstlauf die Pirouetten (Längsachse). Aber auch in den Ballspielsportarten wie Handball, Basketball und Fußball werden Drehungen um die Körperlängsachse durchgeführt.

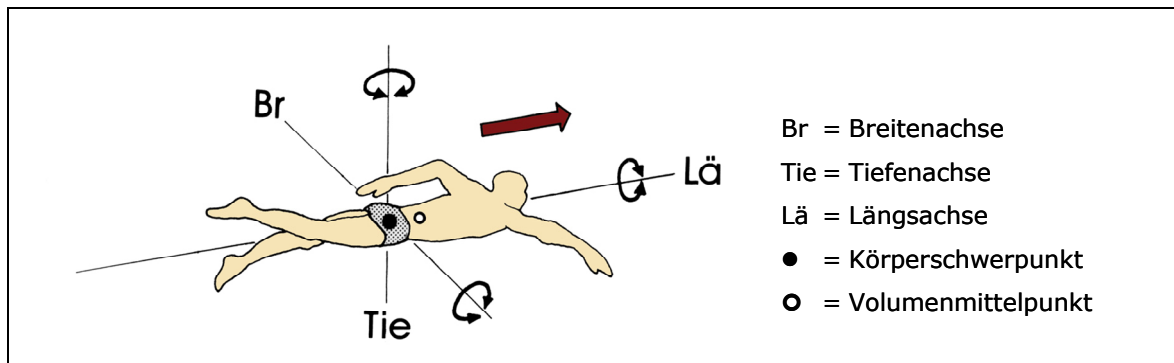


Abb. 6: Die Körperachsen und Körperschwerpunkt beim Schwimmen (modifiziert nach REISCHLE 1988)

Beim Schwimmen sind vor allem die Wenden durch Drehbewegungen gekennzeichnet. So wird bei der Rollwende beim Rückenschwimmen erst eine halbe Drehung um die Längs- und dann eine halbe um die Breitenachse vollzogen. Bei der Wende im Kraulschwimmen erfolgen die Drehungen um die Längs- und Breitenachse nahezu gleichzeitig. Nur bei der Wende beim Brust- und Delphinschwimmen erfolgt eine Drehung um die Tiefenachse. Bildlich sind die Körperachsen eines Schwimmers in der Abb. 6 dargestellt.

Um die Drehseitigkeit zu ermitteln, gibt es zwei Möglichkeiten. Zum Ersten die der allgemeinen Testung. Dabei werden standardisierte Tests verwendet wie z. B. der Niedersprung von einem Kasten mit einer halben bzw. ganzen Drehung.

WASMUND (1976) untersuchte mit dieser Methode insgesamt 333 Studenten (20–22 Jahre) und 175 Grundschulkinder (6–7 Jahre). In Tab. 4 sind die verwendeten Tests und die dazugehörigen Ergebnisse zu finden. Sie nutzte hauptsächlich Übungen, die die Bevorzugung der Drehrichtung um die Längsachse überprüfen bis auf die Übung 10 „Überschlag seitwärts (Rad)“. Diese testet eher die Seitwendigkeit (Drehung um die Tiefenachse).

Tab. 4: Häufigkeitsverteilung von Funktionsproben der Drehseitigkeit (Daten aus WASMUND 1976, S. 38)

Wendigkeitstests		linksseitig [%]		beidseitig [%]		rechtsseitig [%]	
		Stud.	Kinder	Stud.	Kinder	Stud.	Kinder
1.	Sich drehen um die Längsachse	24	29	22	2	54	69
2.	Kastenniedersprung mit halber Drehung	57	36	5	14	37	50
3.	Hochreck: im Hang sich drehen	70	37	10	6	20	57
4.	Reck: Hangstandlaufen mit ½ Drehung	75	36	3	10	22	54
5.	Laufen und Wenden	58	34	13	17	29	49
6.	Hockwende	80	11	3	36	17	53
7.	Ringe: Schaukeln mit ½ Drehung	75		1		24	
8.	Stufenbarren: hohe Wende	94		0		6	
9.	Stufenbarren: Überflanken	54		4		42	
10.	Überschlag seitwärts (Rad)	53		1		46	
11.	Drehsprung	59		4		37	

Diese Ergebnisse zeigen bei den 6-7jährigen Kindern eine leichte Rechtspräferenz. Dagegen findet sich bei den Studenten eine schwache bis sehr starke Linkspräferenz. Des

Weiteren weisen die Studenten eine geringere Häufigkeit in der Beidwendigkeit auf. Dies kann auf eine noch nicht erfolgte Lateralisation bei den 6-7jährigen Kindern hinweisen. Da die Ausprägung der Wendigkeit nicht einem soziokulturellen Druck unterliegt wie die Händigkeit, vermuten u. a. WASMUND (1976) und FISCHER (1988), dass „die Lateralisation der Wendigkeit ein normales ontogenetisches Phänomen oder ein spezifisches Resultat (sport-)motorischen Trainings darstellt“ (FISCHER 1988, S. 83).

FETZ & MADER (1979) untersuchten insgesamt 482 Kinder, Jugendliche (6-18 Jahre) und Studierende im Alter von 19–25 Jahren. Sie verwendeten zur Überprüfung der Wendigkeit den Niedersprung von einem 0,8 bis 1,0 m hohen Kasten (altersabhängig) mit einer halben Drehung nach links oder rechts und zur Überprüfung der Seitwendigkeit das Rad bzw. das gewendete Rad über eine Längsbank. Die Ergebnisse zeigen ein Überwiegen der Linkswendigkeit mit 45 %. Die rechtswendigen Schüler und Studenten machen 32 % aus. Eine Entwicklung im Altersgang ist aus diesen Daten nicht eindeutig ersichtlich. Auch bei der Seitwendigkeit überwiegt die Drehrichtung nach links, also die Linksseitwendigkeit, mit 50 % gegenüber der Rechtsseitwendigkeit mit 28 %. Im Entwicklungsverlauf zeigt sich eine Tendenz zur verstärkten Ausprägung einer bevorzugten Drehrichtung beim Rad, die durch eine Abnahme der Beidseitwendigkeit mit zunehmendem Alter zum Ausdruck kommt.

OBERBECK (1986, 1989) fand bei seinen Untersuchungen an 768 Breitensportlern ebenfalls eine Bevorzugung der linken Drehrichtung bei der Wendigkeit ($\approx 63\%$). Die Männer zeigen eine deutlichere Linksbevorzugung als die Frauen. Bei Spitzensportlern war der Prozentsatz der Linksdreher über dem der Breitensportler. So fand OBERBECK (1989) bei den Leichtathleten $\approx 77\%$, bei den Eiskunstläufer $\approx 76\%$ und bei den Kunstturnern $\approx 85\%$. Dementsprechend war der prozentuale Anteil an Rechtsdreher bei den Spitzensportlern ($\approx 19\%$) geringer als bei den Breitensportlern ($\approx 32\%$).

Die zweite Möglichkeit zur Testung der Drehseitigkeit ist eine sportartspezifische Erhebung. Diese sind z. B. beim Turnen und Wasserspringen die Analyse der Drehrichtungen bei den turnerischen Elementen wie z. B. die Schrauben. FETZ & WERNER (1981) veröffentlichten Untersuchungen von 45 Skirennläufern, die sie mit 99 Sportstudenten aus der Untersuchung von SPILLE (1959) verglichen, des Weiteren von 84 Turnern (37 männliche und 47 weibliche), die sie mit 386 Schülern (191 männliche und 195 weibliche) verglichen, sowie von 99 Wettkampfschwimmern.

Bei der Untersuchung des Schwingverhaltens beim Skifahren an 45 österreichischen Skirennläufern kamen FETZ & WERNER (1981) zu dem in der Tab. 5 stehenden Ergebnis. Außerdem fanden sie innerhalb der Gruppe der Rennläufer einen qualifikationsbedingten

Unterschied in der Beidwendigkeit. Die C-Kader sind zu 26 %, die B-Kader zu 45 % und die A-Kader zu 64 % beidwendig.

Tab. 5: Das Schwingen im Skilaufen als Ausdruck der Wendigkeit bei alpinen Skiläufern (n = 45) und Sportstudenten (n = 99) (Daten aus FETZ & WERNER 1981)

	linkswendig		beidwendig		rechtswendig	
	abs.	rel. [%]	abs.	rel. [%]	abs.	rel. [%]
Sportstudenten	57	57,6	1	1,0	41	41,4
Skirennläufer	20	44,0	18	40,0	7	16,0

FETZ & WERNER interpretieren die Unterschiede zwischen den Sportstudenten und den Skirennläufern sowie die Zunahme der Beidwendigkeit bei den Skirennläufern mit höherer Qualifikation als eine trainingsbedingte Veränderung. Um diese Vermutung weiter zu untersuchen, verglichen sie die bevorzugte Drehrichtung beim Rad (Handstützüberschlag seitwärts) von 84 Leistungsturnern mit 386 Schülern. Bei den männlichen Schülern als auch bei den männlichen Leistungsturnern ist die Linksseitwendigkeit im Vergleich zur weiblichen Vergleichsgruppe stärker ausgeprägt. Das intensive Training der Turner scheint sich in einer Rechtslateralisation der Seitwendigkeit auszuwirken. Dies kann vor allem auf eine „Polarisierung bei den Turnerinnen“ zurückgeführt werden (FETZ & WERNER 1981).

Eine weitere Untersuchung ist die an 99 Wettkampfschwimmern, in der das Seitwendigkeitsverhalten analysiert wurde. Dabei wurden die Drehrichtungen bei den Wenden beim Brust- bzw. Delphinschwimmen sowie beim Rückenschwimmen untersucht. In der Zeit der Untersuchung (1975-1980) wurde auf Grund der damaligen Wettkampfbestimmungen beim Rückenschwimmen nicht die Rückenrollwende sondern die Drehwende im Wettkampf praktiziert. Dabei muss die Wand mit einer Hand in der Rückenlage berührt und erst dann darf die Wende ausgeführt werden. Es erfolgt bei der Drehwende eine Drehung um die Tiefenachse rechts- bzw. linksherum. Die Richtung wird durch den Arm, der die Wand berührt, erzwungen. Seit 1991 darf beim Rückenschwimmen der Wandanschlag zum Richtungswechsel beliebig gestaltet werden. So hat sich seitdem die Rückenrollwende als leistungssportliche Bewegungslösung durchgesetzt. Die Ergebnisse der Untersuchungen von FETZ & WERNER (1981) zur Analyse der Wenden beim Brust- bzw. Delphin- sowie Rückenschwimmen sind in Tab. 6 dargestellt.

Tab. 6: Seitwendigkeitsverhalten von Schwimmern (n = 99) bei Brust- bzw. Delphinwenden und Rückenwenden (Daten aus FETZ & WERNER 1981)

		linksseitwendig		beidseitwendig		rechtsseitwendig	
		abs.	rel. [%]	abs.	rel. [%]	abs.	rel. [%]
Brust- bzw. Delphinwende		51	53,1	18	18,8	27	28,1
Rückenwende	gesamt	42	45,7	34	36,9	16	17,4
	9-12jährige	17	43,6	11	28,2	11	28,2
	13-15jährige	17	47,2	15	41,7	4	11,1
	16-19jährige	6	40,0	8	53,3	1	6,7

Der Prozentsatz der Rechtsseitwendigen sowie der Linksseitwendigen bei Brust- bzw. Delphinwenden ist höher als bei Rückenwenden bei einem wesentlich niedrigeren Anteil an Beidseitwendigen. FETZ & WERNER (1981) erklären die Abnahme der Bevorzugung einer Drehrichtung bei den Rückenwenden „durch das häufige Wenden auf beiden Seiten, das durch den jeweiligen Anschlagarm erzwungen wird“ (FETZ & WERNER 1981, S. 135). Es zeigt sich weiterhin mit zunehmenden Trainingsalter eine Abnahme der Rechtsseitwendigkeit bei gleichzeitig starker Zunahme der Beidseitwendigkeit. Auch bei den Wettkampfschwimmern bestätigt sich die Vermutung, dass die Zunahme der Beidseitwendigkeit mit höherer Qualifikation eine trainingsbedingte Anpassung darstellt.

2.2.4 Händigkeit

Die Händigkeit war und ist Gegenstand vielfältiger Forschungsaktivitäten von der Philosophie über die Pädagogik, Psychologie, Medizin bis hin zur Bewegungs- und Trainingswissenschaft. Dementsprechend breit und vielfältig sind die Untersuchungen und Ergebnisse in Zusammenhang mit der Händigkeit. In diesem Kapitel soll hauptsächlich aus der sportmedizinischen und bewegungs-/trainingswissenschaftlichen Sicht das Phänomen Händigkeit betrachtet werden.

Im Sport spielt die Händigkeit eine wichtige Rolle. „Nicht nur der Überraschungseffekt, dass der Gegner mit der ungewohnten linken Hand spielt, wirkt sich hier z. B. beim Tennis, Fechten und Boxen begünstigend aus, sondern auch die bei Linkshändern öfter feststellbare bessere Raumverarbeitung in ihrer dominanten rechten Gehirnhälfte hilft ihnen, Abläufe besser einschätzen zu können.“ (SATTLER 2007)

Als erstes wird eine allgemeingültige Definition erarbeitet, gefolgt von Untersuchungsmethoden zur Händigkeitsbestimmung. Abschließend erfolgt eine Darstellung von einzelnen Untersuchungsergebnissen mit medizinischen, bewegungs- und trainingswissenschaftlichen Hintergrund.

2.2.4.1 Definition

Eine der ersten Begriffsbestimmungen für die Händigkeit stammt von STIER (1911). Er definierte die Händigkeit als die „angeborene Disposition, feine koordinative Bewegungen mit der bevorzugten Hand rascher, schneller und lieber auszuführen“ (STIER 1911, S. 4). In der Folgezeit haben sich viele Autoren, vor allem deutschsprachige wie bspw. LANDGRAF (1963), dieser Definition bedient.

Ob die Händigkeit nun eine „angeborene Disposition“, also genetisch bedingt, ist und bzw. oder ob diese sich aufgrund anderer Faktoren entwickelt, ist bis heute noch nicht

zweifelsfrei geklärt. Es gibt jedenfalls eine Vielzahl zum Teil sehr unterschiedlicher Theorien, die versuchen, die Entwicklung der Händigkeit zu erklären. Einige von ihnen bringen die Händigkeit in Verbindung mit dem Immunsystem, den Hormonen und dem Geburtsstress. Die einflussreichsten Überlegungen sind jedoch die „Umwelttheorie“ und das „genetische Modell“. Eine Zusammenfassung aller Theorien ist bei SPRINGER & DEUTSCH (1998) zu finden.

Vertreter der Umwelttheorie gehen davon aus, dass der Mensch in der Frühgeschichte beidhändig war und erst durch den Gebrauch von Werkzeugen und der Entwicklung der Sprache eine laterale Spezialisierung erfolgte. Es sind also die Neigungen und die kulturellen Faktoren, die die Händigkeit bestimmen. Und diese wurde dann von einer Generation auf die nächste weitergegeben. Dafür sprechen Untersuchungen, die in verschiedenen Kulturen unterschiedliche Anteile von linkshändigen Personen ermittelt haben (vgl. CORBALLIS 1989).

Bei den genetischen Modellen wird angenommen, dass bestimmte Seitigkeitsausprägungen genetisch festgelegt und somit vererbbar sind. ANNETT (1985) entwickelte die „right shift theory“, mit deren Vorhersagen die Verteilung der Händigkeit in der Bevölkerung sehr nahe kommen. Nach dieser Theorie ist ein dominantes Gen „rs+“ dafür verantwortlich, dass sich die Sprache in der linken Hemisphäre entwickeln kann. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass auch die rechte Hand geschickter ist. Durch die rezessive Form des Gens „rs-“ soll es zu keiner Verschiebung zu einer Seite kommen. Wenn man davon ausgeht, dass beide Genformen gleich häufig in der Bevölkerung sind, ergäbe sich bei einer zufälligen Fortpflanzung eine Verteilung von 50 % „rs+-“, 25 % „rs++“ und 25 % „rs--“. Nur bei der letzten Gruppe könnten Umwelteinflüsse die Verschiebung zu einer Seite bewirken (vgl. ANNETT & ALEXANDER 1996).

Auch wenn es noch nicht „die“ Entwicklungstheorie zur Händigkeit gibt, nachgewiesen ist jedenfalls ein sehr enger Zusammenhang zu der Hemisphärenspezialisierung im Laufe der Ontogenese.

Die Händigkeit kann unterteilt werden in Links- und Rechtshändigkeit sowie in die Ambidextrie (Beidhändigkeit). Wie bereits bei der Drehseitigkeit und der Füßigkeit muss auch bei der Händigkeit eine Leistungsdominanz von einer Präferenzdominanz unterschieden werden. Abb. 7 stellt die Differenzierung der Händigkeit schematisch dar.

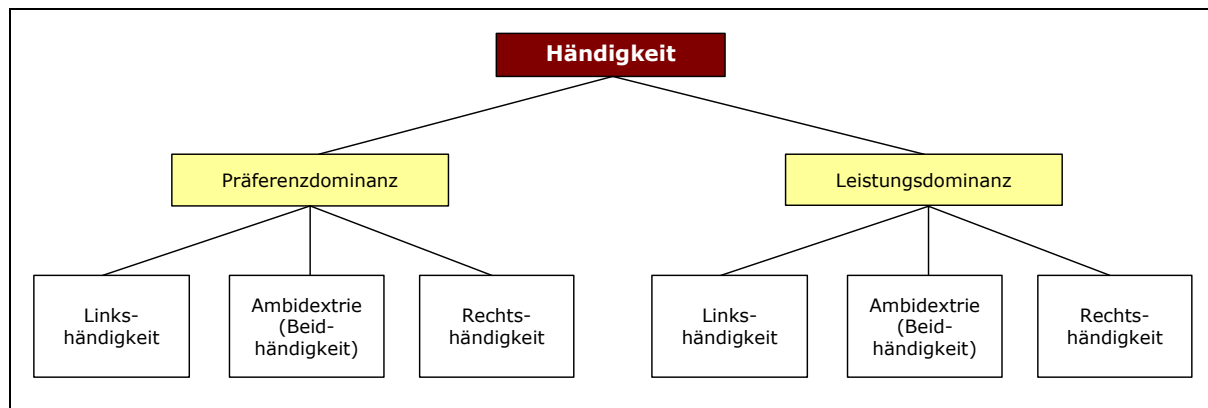


Abb. 7: Differenzierung der Händigkeit

Die Linkshändigkeit ist nach dem BROCKHAUS (2001) eine anlage- und/oder erziehungsbedingte linkshändige Ausübung von zahlreichen Tätigkeiten (welche zu stärkerer Entwicklung der rechten Hirnhälfte führt). Eine Rechtshändigkeit ist dann die rechtshändige Ausübung von zahlreichen Tätigkeiten. Eine Ambidextrie (Beidhändigkeit) liegt vor, wenn beide Hände eine gleich ausgebildete Geschicklichkeit aufweisen. Anzumerken ist, dass es nicht „die Händigkeit“ gibt sondern vielmehr abgestufte Grade.

Trotz langjähriger und intensiver Forschung ist die Händigkeit nicht exakt zu charakterisieren und variiert von Studie zu Studie. So muss man beachten, dass sowohl „die Händigkeit als auch die Hemisphärenspezialisierung bezüglich ihrer Seitigkeit eine kontinuierliche Variable ist und dass die Übergänge zwischen Rechts- und Linkshändigkeit bzw. rechts- und linkshemisphärieller Dominanz fließend ineinander übergehen“ (REISS 2000, S. 71).

Definition: Händigkeit ist die Bevorzugung einer Hand bei Ausübungen von Tätigkeiten. Sie kann unterschieden werden in Links-, Rechtshändigkeit sowie in Ambidextrie. Linkshändigkeit ist der überwiegende Gebrauch der linken Hand und Rechtshändigkeit der der rechten. Die Ambidextrie ist die Beidhändigkeit, das heißt mit beiden Händen z. B. dieselbe Geschicklichkeit zu haben. Bei der Bestimmung müssen die Präferenzdominanz und die Leistungsdominanz unterschieden werden.

2.2.4.2 Untersuchungsmethoden

Beim Studium der internationalen Literatur zum Thema „Untersuchungstechniken und -methoden zur Bestimmung der Händigkeit“ ist eine große Anzahl von Vorgehensweisen zu finden. Einige von diesen bezeichnet REISS (2000) auch als „unbrauchbare Methoden“. An dieser Stelle sind beispielsweise folgende zu nennen: die Applaudierprobe (OSTLYNGEN

1948), das Armeverschränken (LURIA 1972, SAKANO 1982), das Händefalten (LURIA 1972, SOVAK 1968, OSTLYNGEN 1948), die Fingernagelbreite (LURIA 1972), die zu einem „V“ abgespreizten, paarig zusammengelegten Finger (SYED 1973) bzw. das Fingerspreizen (BRYDEN 1989, LEMKE 1987), der sogenannte Torque-Test (DEMAREST 1980) und der Test des Uhraufziehens (BRAGINA 1984).

Die häufig angewandten Methoden der Händigkeitbestimmung reichen von der Selbsteinschätzung über Fragebögen mit Vormachen diverser Bewegungen bis zu umfangreichen Testreihen. Hauptsächlich wird versucht, die funktionelle Überlegenheit einer Hand zu ermitteln. Die bei Tests untersuchten funktionellen psychomotorischen Kriterien lassen sich in Prüfverfahren unterteilen, die Präferenzen erfassen, und solchen, die Leistungsdominanzen registrieren.

Eine sehr einfache und schnell durchzuführende Methode zur Bestimmung ist die Anwendung von Fragebögen zur Handbevorzugung (Ermittlung der Präferenzdominanz). Diese Methode erfragt die Bevorzugung einer Hand bei bestimmten Tätigkeiten und muss funktionelle Differenzen nicht zwangsläufig widerspiegeln. Aus diesem Grund sind zur Bestimmung der Händigkeit Leistungsdominanztests empfehlenswert, bei denen die Ausführung motorischer Aufgaben mit der linken und rechten Hand bzw. des linken und rechten Armes verglichen wird.

Für einen Leistungsdominanztest werden sehr häufig so genannte Punktiertests verwendet, bei denen möglichst schnell kleine Ziele markiert werden müssen. Bei diesen Tests ist ein hohes Maß an feinmotorischer Koordination und Auge-Hand-Koordination erforderlich. Beispiele hierfür sind der Hand-Dominanz-Test (HDT) von STEINGRÜBER & LIENERT (1976) und der Leistungs-Dominanz-Test (LDT) von SCHILLING (1979). Bei dem von STEINGRÜBER & LIENERT (1976) veröffentlichten Hand-Dominanz-Test müssen jeweils 30 Sekunden lang sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand Spuren nachgezeichnet und Punktieraufgaben durchgeführt werden, woraus dann ein Leistungsindex errechnet wird.

Im Bereich des Sports werden auch standardisierte Konditionstests – vor allem Krafttests – verwendet. So untersuchte bspw. STRASS (1999) Schwimmer an einem Kraftmessplatz, an dem statische Kontraktionen in drei verschiedenen Armwinkeln uni- und bilateral ausgeführt wurden. KRÜGER (2005) benutzte für seine Analysen eine Gegenstromanlage (spezifische Leistungsdiagnostik) sowie den „Kraftmessplatz Kanu“. Ebenfalls über konzentrische Bewegungen wurden Leistungsdominanzen der oberen Extremitäten von Hochleistungsschwimmern sichtbar, welche durch die Auswertung der erfassten Daten von komplexen Leistungsdiagnostiken an einem Armkraftzuggerät deutlich wurden (WITT & HERMSDORF 2006).

2.2.4.3 Ergebnisse der Händigkeitforschung

Ergebnisse aus Untersuchungen, die eine Handbevorzugung im Sinne einer Präferenzdominanz analysiert haben, zeigen, dass etwa 90 % der Bevölkerung den rechten Arm bzw. die rechte Hand bevorzugt einsetzen. So fand beispielsweise WASMUND (1976) eine 84 %ige Bevorzugung der rechten Seite bei Studenten und eine 75 %ige bei Kindern. COREN (1993) publizierte auf Grund seiner Untersuchungen, dass die Frauen ($n = 1932$) eine Bevorzugung der rechten Hand von 90,9 %, der linken Hand von 6,8 % und eine Beidhändigkeit von 2,4 % zeigten und die Männer ($n = 1375$) eine Bevorzugung der rechten Hand von 88,2 %, der linken Hand von 8,1 % und eine Beidhändigkeit von 3,7 % aufwiesen. REISS (1997) fand bei der Untersuchung von Seitigkeiten bei insgesamt 936 deutschen Studierenden folgende Verteilung für die Rechtshändigkeit heraus: 93,9 % bei den Frauen ($n = 430$) und 88,7 % bei den Männern ($n = 506$), was zusammen eine prozentuale Häufigkeit von 91,4 % für die Rechtshändigkeit ergibt.

Bei Untersuchungen der Leistungsdominanz der oberen Extremitäten soll an dieser Stelle explizit eine Studie erwähnt werden. SCHILLING (1972) untersuchte die Leistungs- und Präferenzdominanz bei 100 acht- und neunjährigen Grundschulern, in der Linkshänder mit etwa 30 Kindern überrepräsentiert waren. Nach den Tests der Präferenzdominanz kam er zu dem Ergebnis, dass insgesamt 27 Kinder linkshändig und 73 Kinder rechtshändig waren. In den Tests der Leistungsdominanz zeigten von den 73 rechtshändigen Kindern sechs eine linksseitige Leistungsdominanz. Dagegen wurde bei den 27 linkshändigen Kindern nur eines nach den Leistungstests als rechtsdominant identifiziert. SCHILLING (1972) zeigt mit diesem Ergebnis einen hohen Zusammenhang zwischen der Präferenz- und Leistungsdominanz, aber er dokumentiert auch, dass nicht immer bei einer rechtsseitigen Präferenz der Hand auf eine rechtsseitige Leistungsdominanz zu schließen ist. In der Veröffentlichung dieser Studie von 1973 gab er einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,70$ für diesen Zusammenhang an (vgl. SCHILLING 1973).

KRÜGER (2005) konnte ebenfalls nachweisen, dass eine rechtsseitige Präferenzdominanz nicht immer auch eine rechtsseitige Leistungsdominanz bedeutet. So fand er zum Messzeitpunkt T1 bei den männlichen Kanuten ($n = 18$, alle Rechtshänder) einen 16,7 %igen Anteil mit einer höheren Kraftleistung in der linken Extremität. Zum Zeitpunkt T5 beträgt der Anteil sogar 38,1 %. Die Verteilungen zu den anderen sechs Messzeitpunkten (T2 – T7) können der nachstehenden Tab. 7 entnommen werden.

Tab. 7: Absoluter und prozentualer Anteil größerer Kraftleistungen in den Extremitäten von den männlichen Links- und Rechtshändern (modifiziert nach KRÜGER 2005, S. 125)

Zeitpunkt	Händigkeit	n	Anteil der höheren Kraftleistung			
			rechts	rechts [%]	links	links [%]
T1	Rechtshänder	18	15	83,3	3	16,7
	Linkshänder	0	0	-	0	-
T2	Rechtshänder	22	21	95,5	1	4,5
	Linkshänder	1	1	100,0	0	-
T3	Rechtshänder	28	24	85,7	4	14,3
	Linkshänder	1	1	100,0	0	-
T4	Rechtshänder	28	24	85,7	4	14,3
	Linkshänder	0	0	-	0	-
T5	Rechtshänder	21	13	61,9	8	38,1
	Linkshänder	2	2	100,0	0	-
T6	Rechtshänder	28	21	75,0	7	25,0
	Linkshänder	4	2	20,0	2	50,0
T7	Rechtshänder	45	36	80,0	9	20,0
	Linkshänder	5	3	60,0	2	40,0

Im Folgenden wird explizit auf Untersuchungen eingegangen, bei denen die konditionelle Fähigkeit Kraft getestet wurde, auch wenn nicht die Lateralität im Vordergrund der Untersuchung stand.

Bei veröffentlichten Daten von BIEDER & UNGERECHTS (1995) können geringe Lateralitäten nachgewiesen werden. So zeigen die 27 männlichen, leistungssportlich trainierenden jugendlichen Schwimmer für die linke Seite geringfügig geringere Leistungswerte als für die rechte. So erreichen die Schwimmer für die Innenrotation links 44 ± 11 Nm und rechts 45 ± 11 Nm, bei der Außenrotation links 25 ± 6 Nm und rechts 27 ± 7 Nm. Der Unterschied der Innenrotation kann aber auf Grund des geringen Ausmaßes vernachlässigt werden.

STRASS ET AL. (1999) untersuchten insgesamt 30 Wettkampfschwimmer und ermittelten deren maximale isometrische Kraft der Arm-Schulter-Muskulatur sowie das EMG für beide Seiten bei drei unterschiedlichen Armpositionen. Es wurden bei unilateralen (rechts und links jeweils einzeln) und bei bilateralen (rechts und links zusammen) Kontraktionen die Werte erhoben. Die 30 Wettkampfschwimmer wurden in zwei Gruppen eingeteilt, Gruppe 1 bestand aus 15 Schwimmer der Schwimmstile Rücken und Kraul (Alter: $28,7 \pm 10,3$ Jahre; Körperhöhe: $179,1 \pm 5,6$ cm; Körpermasse: $75,1 \pm 8,8$ kg) und Gruppe 2 waren 15 Schwimmer der Schwimmstile Brust und Delphin zugeordnet (Alter: $21,7 \pm 5,1$ Jahre; Körperhöhe: $185,5 \pm 5,4$ cm; Körpermasse: $72,3 \pm 6,3$ kg). STRASS ET AL. (1999) fanden heraus, dass bei der 1. Gruppe die Summe der unilateralen Messung im Mittel um 41 N größer ist als bei der bilateralen. Bei der 2. Gruppe beträgt diese Differenz 3 N, was im Vergleich zur Gruppe 1 einen signifikanten Unterschied auf einem Signifikanzniveau über 95 % darstellt. Des Weiteren geht aus den publizierten Daten hervor, dass bei den unilateralen Messungen eine Differenz zwischen den beiden Seiten zu finden ist. So wurde bei der Gruppe 1 für die linke Seite 171 ± 62 N und für die rechte

213 ± 74 N gemessen. In der zweiten Gruppen waren es für links 195 ± 60 N und für rechts 250 ± 50 N. Somit ergeben sich rein rechnerisch prozentuale Differenzen von 19,8 % und 22,0 % (Gruppe 1 und 2). Alle publizierten Werte können der Tab. 8 entnommen werden.

Tab. 8: Maximale bi- und unilaterale Kraft, Differenz zwischen der Summe von unilateral und dem bilateralem Wert sowie das bilaterale Defizit der beiden Gruppen für die Position 1, t-value und Korrelationskoeffizient (point-biserial correlations). (aus STRASS ET AL. 1999)

	Group 1 (n = 15)	Group 2 (n = 15)	t-value	r _{pbs}
unilateral right [N]	213 ± 74	250 ± 50	1,21	0,28
unilateral left [N]	171 ± 62	195 ± 60	0,85	0,21
bilateral [N]	343 ± 124	443 ± 104	1,82	0,41
difference – sum [N]	41 ± 29	3 ± 49	2,06	0,49
bilaterales deficit [%]	10,8 ± 6,5	5,7 ± 4,8	1,85	0,41

Leider wurde bei der Ergebnisdarstellung für die bilateralen Messungen nicht zwischen den beiden Seiten differenziert, so dass eine Differenz der beiden Seiten für die bilateralen Messungen nicht ausgerechnet werden kann. Dies kann aber auch daran liegen, dass über das selbst entwickelte Messsystem die Werte der beiden Seiten nicht getrennt ermittelt werden konnten.

Für STRASS ist es entscheidend, welche Bewegungen im Wasser gemacht werden (uni- oder bilaterale Kontraktionen), denn diese haben einen Einfluss auf die uni- und bilateralen Kraftfähigkeiten. So zeigen die Probanden der 2. Gruppe, in der ausschließlich Schwimmer sind, die gleichzeitig mit beiden Armen ziehen (Schwimmstile Brust- und Delphin), bei der bilateralen Messung so gut wie keinen Unterschied zu der Summe der beiden unilateralen Messungen. Im Gegensatz dazu ist eine relativ große Differenz bei den Probanden der 1. Gruppe (alternierende Schwimmstile Kraul und Rücken) zwischen der Summe beider unilateralen Messungen zu der bilateralen Messung zu finden.

Trotz alledem ist ein Unterschied in den Kraftwerten, unabhängig vom Schwimmstil, für die beiden Seiten festzustellen. Bei beiden Gruppen wurden im Mittel für den rechten Arm höhere Kräfte gemessen als für den linken.

KRÜGER (2005) untersuchte insgesamt 275 Nachwuchsleistungssportler (Alter: 11 bis 16 Jahre) im Kanurennsport (Kajak- und Canadierfahren) hinsichtlich der Lateralität der oberen Extremitäten. Er nutze die drei folgenden Messmethoden für die Datenerhebung: den „Kraftmessplatz Kanu“, die Kanu-Gegenstromkanal sowie das Freiwasser im Wettkampfboot. Es wurden neben dem EMG die Kraftfähigkeiten Maximalkraft (isometrische Messung, Kraftmessplatz Kanu), Schnellkraft (dynamische Messung, Kraftmessplatz Kanu), das Kraftmaximum, das Kraftniveau und der Kraftstoß (alle drei dynamische Messungen, Kanu-Gegenstromkanal) und die Kraftverläufe auf dem Freiwasser erhoben.

Bei der Auswertung der Daten kommt KRÜGER (2005) zu dem Ergebnis, dass in der zyklischen Sportart Kanu in den Kraftfähigkeiten Lateralitäten zu finden sind. So zeigen beispielsweise in einer Längsschnittanalyse die Mädchen ($n = 10$) sowie die Jungen ($n = 13$) über einen Zeitraum von 2 Jahren (drei Messungen: T2, T4 und T6) rechts signifikant höhere Maximalkraftwerte. In einer Querschnittsanalyse ist zu allen Messzeitpunkten (T1 bis T7) bei den weiblichen sowie bei den männlichen Probanden rechts eine signifikant höhere Maximalkraft zu finden.

2.3 Lateralität und Sport

In den folgenden Kapiteln werden Aspekte der Lateralität im Sport näher betrachtet. Es wird der Einfluss von Seitigkeitsausprägungen in den verschiedensten Sportarten erläutert. Anschließend wird auf den Zusammenhang von Lateralität und Training eingegangen, wobei das Phänomen des kontralateralen bzw. bilateralen Transfers näher betrachtet wird.

2.3.1 Der Einfluss der Lateralität im Sport

Bei einer Betrachtung von verschiedenen Sportarten fällt auf, dass Seitigkeitsausprägungen von unterschiedlicher Bedeutung sind. So wird beispielsweise in Rückschlagsportarten wie Badminton und Tischtennis im Wettkampf ausschließlich mit einer Hand gespielt und die Spezialisierung einer Hand ist dort von Vorteil. Hingegen werden beim Schwimmen, Rudern (Skulls) und Kajak beide Körperhälften zur Ausführung der Übungselemente und Techniken benötigt. Eine stark ausgeprägte Leistungsdominanz einer Seite würde sich bei diesen Sportarten negativ in der Technik aber auch im Leistungsvermögen auswirken. Bei den Ballspielsportarten wie Fuß-, Hand-, Volley- und Basketball ist es ein Vorteil, wenn die Techniken mit beiden Füßen bzw. Händen (Armen) beherrscht werden. So ist die Zahl der Handlungsalternativen erhöht und es wird für den Gegner schwerer, die Spielaktionen vorherzusehen. Des Weiteren kann gezielt die schwächere Seite des Gegners ausgenutzt werden.

In wieder anderen Sportarten sind bestimmte Konstellationen lateraler Dominanzen von Vorteil. Beispielsweise gibt es in der Leichtathletik beim Hochsprung folgende zwei Technikvarianten beim Flop: Absprungbein rechts und Drehrichtung rechts sowie Absprungbein links und Drehrichtung links. Hier sind die Konstellationstypen mit derselben Beinigkeit (Füßigkeit) und Drehseitigkeit (RR und LL) klar im Vorteil. Auch beim Eiskunstlauf ist solch ein Vorteil zu finden.

Eine umfangreiche Bestimmung der Seitigkeitsausprägungen Händigkeit, Füßigkeit und Drehseitigkeit wurde von OBERBECK (1989) im Breiten- und Spitzensport durchgeführt. Er

untersuchte 296 Spitzensportler aus den Bereichen Leichtathletik (n = 227), Eiskunstlauf (n = 46) und Kunstturnen (n = 23) sowie 1000 Breitensportler. Er prüfte nicht nur einzelne Ausprägungsformen der Händigkeit, Füßigkeit und Drehseitigkeit, sondern auch die Kombination aller drei Seitigkeitsphänomene. Aus den drei Seitigkeitsphänomenen mit jeweils zwei Ausprägungen (rechts und links) ergeben sich acht Konstellationen. Diese bezeichnet OBERBECK auch als Seitigkeits-Konstellationstypen. In Tab. 9 ist eine Übersicht über die Seitigkeits-Konstellationstypen nach OBERBECK (1989) zu finden.

Tab. 9: Seitigkeits-Konstellationstypen (nach OBERBECK 1989)

Seitigkeit	Typ							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Händigkeit	R	R	R	R	L	L	L	L
Sprungfüßigkeit	R	R	L	L	L	L	R	R
Drehseitigkeit	R	L	L	R	L	R	R	L

OBERBECK (1989) fand bei seinen Untersuchungen heraus, dass einige Konstellationen in Abhängigkeit der Sportarten dominieren und andere fast gar nicht auftreten. So dominieren im Spitzenbereich des Turnens die Typen B (RRL) und C (RLL) mit etwa 70 %. Das kann auf eine allgemeine Dominanz der "Linksdreher" zurückgeführt werden. Bei den Leichtathleten und vor allem bei den Eiskunstläufern dominiert der Typ C. Im Vergleich der Häufigkeiten zwischen dem Spitzensport und dem Breitensport sind auch Unterschiede feststellbar: Die Daten zeigen, dass mit zunehmendem Leistungsniveau der Anteil derjenigen Seitigkeitstypen zunimmt, die dem idealtypischen Technikbild der Disziplin entsprechen (siehe Abb. 8).

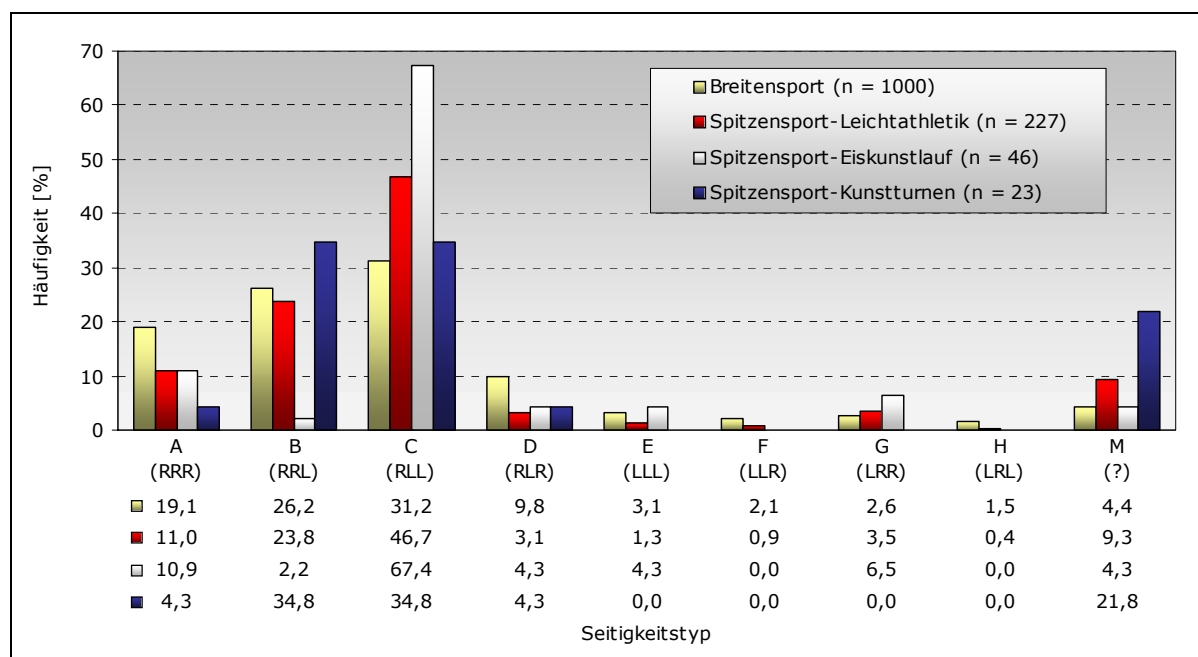


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Seitigkeitstypen im Breiten- und Spitzensport (nach OBERBECK 1989)

Wie bereits oben beschrieben, erfordert eine Vielzahl von Sportarten den rhythmischen Einsatz von rechter und linker Körperseite zur Bewältigung einer Bewegungsaufgabe. Hier sind vor allem die zyklischen Sportarten Schwimmen, Laufen, Eisschnelllauf, Skilanglauf, Radsport, Kajak und Rudern zu nennen. Eine optimale Realisierung zyklischer Bewegungen kann vor allem in der maximalen Leistungsabgabe pro Bewegungszyklus bei gleichzeitiger minimaler Seitendifferenz gesehen werden (THIENES 2000).

JENDRUSCH ET AL. (1997) konnte in einer Studie zum Rudern nachweisen, dass Leistungsruderer gegenüber Nachwuchsruderern trotz höherer Gesamtkräfte geringere absolute Differenzen zwischen rechten und linken Skull aufweisen. Unter Belastungsbedingungen (Laktatazidose) wurde eine Vergrößerung der Seitendifferenzen bei allen Ruderern deutlich. Ermüdungszustände können sich also lokal in unterschiedlich starkem Maße auswirken, was unter zunehmender Belastung zu einer Veränderung der Seitigkeitsausprägungen führt.

Sportarten wie das Rudern, Kajak fahren, Schwimmen und das Laufen sind durch sehr symmetrische Bewegungsausführungen gekennzeichnet. Trotzdem können auch hier Seitigkeitspräferenzen oder gar funktionelle Seitigkeitsdifferenzen in einzelnen Bewegungsphasen festgestellt werden. Beispielsweise wird beim Schwimmen bei einem Schrittstart ein Fuß weiter nach vorne genommen. Welcher dies ist, ist meist abhängig von der Sprungkraft des Schwimmers. Bei den Schwimmstilen Rücken und Kraul wird bei der Wende eine Drehung um die Körperlängsachse durchgeführt. Die meisten Schwimmer führen diese Drehung immer nur in eine Richtung durch, was auf die Bevorzugung einer Drehrichtung zurückgeführt werden kann. Auch bei der Drehrichtung des Kopfes für die Atmung beim Kraulschwimmen gibt es meist eine „Schokoladenseite“.

Eigene Untersuchungen an Schwimmern haben gezeigt, dass es auch nach jahrelangem Training in einer zyklischen Sportart zu Unterschieden in der Leistungsdominanz kommen kann. So zeigten 12 Leistungsschwimmer (6 weibliche und 6 männliche) nach einem 2minütigen Kraftausdauerstest am Armkraftzuggerät im Mittel rechts signifikant höhere Kraft- und Arbeits- und Leistungswerte. Zwei Probanden zeigten sogar einen prozentualen Unterschied bei der mittleren Kraft von 14 % zwischen der rechten und linken Seite (HERMSDORF, WOLFF 2002).

2.3.2 Lateralität und Training – Bilateraler Transfer

Durch ein Training mit einer Extremität lassen sich funktionelle Verbesserungen auf der anderen Seite erzielen. Umfassender betrachtet kann auch gesagt werden, dass eine Übung mit einer Körperhälfte Auswirkungen auf die andere Seite hat. Solch eine

Übertragung wird als kontralateraler oder bilateraler Transfer oder auch Crossing-Effekt bezeichnet. KUHN (1986) favorisiert den Begriff „Kontralateraler Transfer“. Für ihn bedeutet der bilaterale Transfer eine „zweiseitige Übertragung“. Das bedeutet, „dass der Effekt von beiden Seiten ausgeht, was nur bei Durchführung eines beidseitigen (bilateralen) Trainings zuträfe. Bei einhändigem Training hingegen geht der Anstoß für eine Übertragung zur Gegenseite immer nur von einer Seite aus“ (KUHN 1986, S. 424).

Für FISCHER (1988) ist die Differenzierung Kuhns bei der Komplexität des Sachverhaltes der Auswirkungen von einseitigen und beidseitigen Training noch nicht differenziert genug, denn „gerade die Betrachtung motorischer Lernprozesse aus dem Blickwinkel der Lateralitätsforschung macht deutlich, dass die Effekte eines Trainings und deren theoretische Erklärungen unterschiedlich sind, je nachdem, ob es sich um ein echtes einseitiges (unilaterales) Training, ein wechselseitiges Training (von der dominante auf die subdominante Hand oder umgekehrt) oder ein gleichzeitiges Training beider Körperseiten (Hände) handelt“ (FISCHER 1988, S. 117f.). Daher verwendet FISCHER in seiner Arbeit sowie in seinen Publikationen den Begriff „bilateraler Transfer“. Er definiert diesen als eine Spezialform des Transfers, welche die funktionelle Verbesserung der einen Körperseite durch ein Training der anderen bezeichnet. Dabei bezieht sich das Phänomen auf die Übertragung von koordinativen sowie konditionellen Fähigkeiten (Kraft, Kraftausdauer, Schnelligkeit).

In zahlreichen Untersuchungen wurde versucht, einen Transfer von konditionellen sowie koordinativen Fähigkeiten von der einen Körperseite auf die andere nachzuweisen. Einen Überblick über Studien bis 1986 ist bei KUHN (1987) zu finden. Er fasst die wichtigsten Einzelbefunde zu den konditionellen Fähigkeiten wie folgt zusammen:

- „Kraftfähigkeiten können von der arbeitenden auf die nicht arbeitende symmetrische Muskulatur übertragen werden. Das gilt sowohl für die Maximalkraft als auch für die Kraftausdauer.
- Es bestehen keine auffallenden Unterschiede bezüglich der Effektivität eines dynamischen und statischen Maximalkraft- bzw. Kraftausdauertrainings.
- Eine Aussage, bei welcher Reizstärke und bei welchem Reizumfang der größere Kraftausdauer-Trainingseffekt zu erwarten ist, ist nicht möglich.
- Maximalkrafttraining kann eine positive Wirkung auf die kontralaterale Kraftausdauer haben.
- Kraftausdauertraining kann eine positive Wirkung auf die kontralaterale Maximalkraft haben.

- Eine Aussage, ob ein stärkerer Trainingseffekt von der dominanten zur nichtdominanten Seite oder umgekehrt erfolgt, ist nicht möglich.
- Behaltensverluste verlaufenen kontralateral und ipsilateral in ähnlicher Form.
- Kontralaterale Trainingseffekte können auch bei den Antagonisten auftreten.
- Die Motivation ist entscheidend für die Stärke des Transfereffektes.
- Die Frage, ob ein dynamisch-exzentrisches Kraftausdauertraining im Vergleich zu anderen Trainingsmethoden auch zu einer höheren kontralateralen Effektivität führt, muss offen bleiben. Die einzige bislang durchgeführte Untersuchung (MILLER 1971) ergab prozentual in etwa den gleichen statistischen Maximalkraftzuwachs wie ein statisches Kraftausdauertraining (KAISER 1970). Hier erscheinen Replikationen notwendig.
- Der wohl interessanteste Einzelbefund ist der Untersuchung von HELLEBRAND & HOTZ (1950) zu entnehmen: Nach Ermüdung der schwächeren Hand bewirkte die synchrone dynamische Kontraktion mit der stärkeren Hand auf beiden Seiten eine Verbesserung der Kontraktionskraft und der Kraftausdauer." (KUHN 1986, S. 428f.).

Die hier vorgestellten theoretischen Grundlagen betrachten die Thematik der Lateralität bereits aus verschiedenen Blickwinkeln. Jedoch steht eine vollständige Analyse aus, und so können die nachstehenden Fragen aus der vorhandenen Literatur bisher nicht beantwortet werden: Ist auch bei hoch trainierten Sportlern ein kontralateraler bzw. bilateraler Transfer zu provozieren? Ist bei der Anwendung solch einer Trainingsmethode bei zyklischen Sportarten wie dem Schwimmen ein Effekt nachzuweisen?

Mit der vorliegenden Arbeit soll keine abschließende Beantwortung der aufgeworfenen Fragen erfolgen. Es wird jedoch in einzelnen Teilbereichen versucht, diese näher zu betrachten und in die Diskussion einzubetten.

3 Voruntersuchungen

In diesem Kapitel werden Ergebnisse aus eigenen Studien an Leistungsschwimmern sowie aus Untersuchungen des Instituts für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) zusammenfassend dargestellt.

3.1 Eigene Untersuchungen

In leistungsdiagnostischen Untersuchungen von Sportlern unterschiedlichster Disziplinen wurden Kraft- und Leistungsunterschiede zwischen der rechten und linken Seite festgestellt (OBERBECK 1992; BIEDER & UNGERECHTS 1995; KRÜGER 2005). Diese Phänomene finden sich nach eigenen Untersuchungen auch bei Leistungsschwimmern. Im Rahmen des Forschungsprojektes „EMG beim Schwimmen“¹ wurden u. a. an einem Armkraftzuggerät während eines 2minütigen Kraftausdauertests die Leistungsfähigkeit der Probanden ermittelt sowie in einem Strömungskanal die intrazyklischen Geschwindigkeitsschwankungen gemessen.

3.1.1 Methodik

3.1.1.1 Probanden

Die Untersuchungen wurden an 12 Leistungsschwimmern (6 weiblich und 6 männlich) durchgeführt. Bedingt durch artefaktbehaftete Muskelableitungen mussten bei der Datenauswertung drei Probanden aus der Stichprobe als Dropouts eliminiert werden.

Tab. 10: Alter, Körperhöhe (KH), -masse (KM), Kaderzugehörigkeit, Hauptstrecken (HS), Hauptlagen (HL) sowie die 100 m Bestzeit in Kraul der Probanden

Pb.	Geschl.	Alter [Jahre]	KH [cm]	KM [kg]	Kader	HS	Hauptlage	Kraul 100 m [s]
01	m	22	176	68	B	400/1500	K	57,5
02	m	21	198	83	B	100/200	K	50,6
03	w	15	179	59	C/D	50/100/200	R	61,7
04	w	15	168	56	C/D	50/100/200	R	59,8
05	w	15	180	66	C/D	50/100/200	K, D	59,9
06	w	15	170	62	C/D	200	D	61,3
07	m	18	181	77	C/D	100/200	K	53,7
08	w	19	173	69	-*	400/800	K	59,2
09	m	17	186	74	D	50/100	K	54,9
10	m	17	175	70	D	50/100/200	B	56,4
11	m	17	186	80	D	50/100/200	R	58,7
12	w	25	181	72	B	200	K	56,1
Mw. ± SD.		18,0 ± 3,2	179,4 ± 8,1	69,6 ± 8,2				57,5 ± 3,3

* für Langstreckenschwimmer beginnt der Kader erst bei „B“

¹ Dieses Projekt wurde mit Forschungsmitteln des Bundesinstituts für Sportwissenschaft unter dem Geschäftszeichen VF 0407/06/15/2001 gefördert.

Das durchschnittliche Alter der 12 Probanden betrug $18,0 \pm 3,2$ Jahre (männliche $18,7 \pm 2,3$, weibliche $17,3 \pm 4,1$). Die Körperhöhe und -masse, die Kaderzugehörigkeit sowie die Hauptstrecken und -lagen sind der Tab. 10 zu entnehmen. Alle Probanden waren zum Testzeitpunkt ohne akute und chronische Schmerzsymptome. Die Leistungsschwimmer gehörten zum Testzeitpunkt dem A-, B- oder dem C/D-Kader an.

3.1.1.2 Messorte

Die Messungen der Probanden wurden in einer Schwimmhalle auf einer 50 m-Bahn, in einem Schwimmkanal und an einem Armkraftzuggerät (AKZ) durchgeführt. Die ersten Messungen wurden in der Schwimmhalle vorgenommen. Die Messung der Schwimmzeit wurde 5 m nach dem Abstoßen vom Beckenrand gestartet und mit Anschlag am Ende der 50 m gestoppt. Aus der gemessenen Zeit und dem Weg (45 m) ergab sich die durchschnittliche Schwimmgeschwindigkeit, die später in den Kanal übertragen und eingestellt wurde. Auf Grund der gleichen Schwimmgeschwindigkeiten konnten vergleichbare Bedingungen zwischen Kanal und Schwimmhalle geschaffen werden. Nach den Messungen in der Schwimmhalle und dem Kanal folgte die Messung am AKZ. An diesem Krafttrainings- und Testgerät wurde ein Ausdauerstest von 2 Minuten Länge durchgeführt. Auf Grund der daraus resultierenden Ermüdung der Probanden sowie vor allem aus organisatorischen Gründen stand diese Messung am Ende der Testreihe.

3.1.1.3 Messgeräte

Elektromyographie (EMG)

Für die bipolaren Ableitungen von ausgewählten Muskeln wurden wieder verwendbare Napf-Elektroden der Firma Marquette Hellige mit einem Silber/Silberchlorid-Sensor verwendet. Der Außendurchmesser dieser Elektroden beträgt 35 mm und der Durchmesser des Ag/AgCl-Sensors 10 mm, das entspricht einer Ableitfläche von 79 mm^2 . Der Abstand zwischen den Elektroden lag bei 5 mm, daraus ergibt sich ein Elektrodenmittelpunktabstand von 40 mm. Die Elektroden wurden mit einem Klebering, der einen Außendurchmesser von 40 mm und einen Innendurchmesser von 16 mm besitzt, auf der Haut befestigt. Anschließend wurde das Elektrodenpaar und die unmittelbar umliegende Haut mit einem Sprühpflaster der Firma Hansaplast überzogen. Nachdem das Sprühpflaster gut angetrocknet war, wurden die Elektrodenränder mit einem 2,5 cm breiten Leukotape® abgeklebt, um ein Unterspülen der Elektroden durch den Wasserstrom zu verhindern. Die Referenzelektrode wurde an der hinteren Darmbeinkante (Crista iliaca posterior) befestigt. Um eine gute Weiterleitung der bioelektrischen Signale zu realisieren, wurde in den Untersuchungen ein Elektrodengel der Firma Marquette Hellige verwendet.

Die verwendeten Kabel besitzen eine Länge von 5 m. Sie sind gegen elektrische und magnetische Störungen abgeschirmt. Der Widerstand der Kabel beträgt 0,7 Ohm. Die Elektroden sind mit den Kabeln fest verbunden und an der Eintrittsstelle der Elektrode wasserdicht isoliert.

Die Elektrodenbox ist die Schnittstelle zwischen Verstärkerkarte und Signalquelle (Muskel). An der Box befinden sich die Eingänge für die Elektrodenkabel sowie für zwei zusätzliche Trigger.

Der Verstärker und der Sender sind in dem Gerät mit der Typenbezeichnung „BioTel 88“ der Firma Glonner untergebracht. Der Verstärker verstärkt das EMG-Signal mit dem Faktor 4 für die EMG-Kanäle. Nach der Verstärkung erfolgt eine gerätespezifische Filterung der Signale zum einen durch einen Highpass-Filter der 1. Ordnung mit einer Cutoff-Frequenz von 10 Hz und zum anderen durch einen Butterworth Lowpass-Filter der 6. Ordnung mit einer Cutoff-Frequenz von 500 Hz. Die verstärkten und gefilterten Signale werden anschließend mit einer Trägerfrequenz von 434 MHz vom Sender ausgesendet. Die Eingangsimpedanz des BioTel 88 beträgt 10 MOhm.

Der verwendete Empfänger besitzt die Typenbezeichnung „BioTel 88“ und wurde ebenfalls von der Firma Glonner hergestellt. Die Aufgabe ist der Empfang der Daten vom Sender sowie die Datenübertragung zum PC über eine PCMCIA A/D-Karte. Zwischen Empfänger und A/D-Karte befindet sich eine BNC-Box. Über diese Box werden zusätzlich zu den 8 Muskelableitungen noch weitere 3 analoge Signale eingespeist. Für die Untersuchung wurden das analoge Triggersignal vom EMG-Video-Trigger und am AKZ die Kraftwerte für den rechten und linken Arm getrennt über diese BNC-Box aufgenommen.

Die A/D-Karte ist eine 12 Bit PCMCIA-Karte mit der Typenbezeichnung „PCM-DAS 16S/12“ der Firma Computer Boards, Inc. Diese Karte arbeitet mit einer Samplingrate von 100 k/s und einer A/D-Verzögerungszeit von 10 μ s.

Die von der A/D-Karte gewandelten Signale wurden mit Hilfe eines mobilen Rechners, der mit einem Intel Pentium III Prozessor und einer Taktfrequenz von 1000 MHz arbeitet, online auf einem Bildschirm dargestellt und auf einem Datenträger (Festplatte) gespeichert. Für die Datenaufnahme, die Datenweiterverarbeitung und die Auswertung wurde das Programm „MyoResearch 98“ der Firma NORAXON verwendet.

Drei-Faden-System im Strömungskanal

Mit dem Drei-Faden-System können die Geschwindigkeitsänderungen, die im Schwimmzyklus auftreten, gemessen werden. Dazu werden drei „Fäden“ an einer speziellen Badehose, die der Schwimmer trägt, befestigt. Das Drei-Faden-System ist auf einer Brücke über dem Strömungsbecken installiert. Es besteht aus drei Seilzuggebern, die im Dreieck mit einem Abstand von 2 m zueinander angeordnet sind. Jeder Seilzuggeber misst die Zuglänge des Seils und gibt die Daten analog an den Messrechner weiter. Im Messrechner werden die drei analogen Werte zum einen über einen 10 Bit A/D-Wandler mit einer Samplingrate von 250 Hz digitalisiert und zum anderen synchron mit den Videodaten abgespeichert. Nach der Messung und Aufzeichnung werden die Rohdaten der Seilzuggeber weiterverarbeitet, in dem die horizontalen und vertikalen Weg-, Zeit-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte aus den drei Werten der Seilzuggeber errechnet werden. Mittels der Software „DiVAS“ der Firma Datenhaus werden die errechneten Daten synchron zu den Videobildern dargestellt. Nach dem durchgeführten Export der errechneten horizontalen Geschwindigkeitswerte erfolgte abschließend die Zuordnung zu den EMG-Daten über die Zeit.

Armkraftzuggerät

Für den semispezifischen Kraftausdauerstest wurde das Armkraftzuggerät, ein Seilzugergometer von der FES, verwendet. Eine detaillierte Gerätebeschreibung ist im Kapitel „5.3.2 Armkraftzuggerät (AKZ)“ ab Seite 63 zu finden.

Videosystem

Für die Videoaufnahmen in der Schwimmhalle und am AKZ wird ein digitaler Camcorder von Sony mit einer Bildrate von 50 Hz verwendet. Um visuelle Auswertungen und Bewegungsanalysen durchführen zu können, werden die Videodaten über eine Digitalisierungskarte „AV-Master“ der Firma FAST auf einen PC übertragen. Im Kanal findet das dort installierte Videosystem Anwendung (Bildrate 50 Hz). Die Übertragung der Videodaten auf einen PC wird hier ebenfalls über eine Digitalisierungskarte „AV-Master“ realisiert. Die Speicherung erfolgt synchron zu den Messwerten vom Drei-Faden-System auf dem dazugehörigen Messrechner.

Trigger

Um die Daten der verwendeten Systeme miteinander synchronisieren zu können, wurden zwei verschiedene Trigger verwendet. Für die Triggerung des EMG-Systems mit dem Videosystem wurde ein Lichtsignal (LED) für das Video und eine synchrone Spannungsänderung im EMG verwendet. Dieser Trigger kam bei allen drei

Messbedingungen (Halle, Kanal und AKZ) zum Einsatz. Am AKZ erfolgte die Triggerung zum EMG durch die Kraftwerte. Diese wurden vom AKZ jeweils für den rechten und linken Arm unabhängig voneinander ausgesendet und im EMG synchron zu den EMG-Werten jeweils in einem Extrakanal aufgezeichnet. Der Zugzyklusbeginn wird für diese Studie bei einem Kraftwert von 20 N definiert. Über die verschiedenen Trigger ist es möglich, den Zyklusphasen bestimmte EMG-Muster zuzuordnen sowie die einzelnen Zyklen voneinander abzugrenzen. Des Weiteren können die Geschwindigkeitsänderungen im Kanal und die Kraftwerte am AKZ den EMG-Werten zugeordnet werden. Ferner ist es möglich, die EMG- und Kraftwerte dem Videobild zeitlich zuzuordnen.

3.1.1.4 Untersuchungsdesign

Nach der Bestimmung der anthropometrischen Daten Körperhöhe und Körpermasse sowie einer Befragung zur gesundheitlichen und sportlichen Anamnese erfolgte die Elektrodenapplikation. Der betreffende Bereich über den abzuleitenden Muskeln wurde rasiert. Anschließend erfolgte das Aufrauen der Haut mit einer Peeling-Paste. Die Hautpräparation endete mit dem Entfernen der Peeling-Paste und dem Reinigen mit einer Alkohollösung. Die Lokalisation der Ableitstellen sowie die Applikation der Elektroden erfolgten nach den Ableitregeln von ZiPP (1989).

Um intra- und interindividuelle Unterschiede feststellen zu können, erfolgte vor den Hauptmessungen eine für jeden Muskel spezifische MVC-Messung (Maximale willkürliche Kontraktion). Über diese MVC-Messung wurde in der Datenweiterverarbeitung die Amplitudennormalisierung durchgeführt.

Die erste Hauptmessung fand im Freiwasser einer Schwimmhalle mit einer Bahnlänge von 50 m statt. Die Probanden führten an Land eine Erwärmung durch und schwammen sich anschließend 200 m ein. Die Teststrecke im Schwimmbecken betrug 45 m (5 m nach dem Start bis zum Anschlag). Die Schwimmstrecke wurde in drei Belastungsintensitäten in Kraul geschwommen (80, 90 und 100 % der individuellen maximalen Geschwindigkeit). Die Probanden mussten mit einem Schnorchel schwimmen. Durch den Einsatz des Schnorchels können Muskelaktivitäten vermieden werden, die durch die Atembewegung zustande kommen würden. Weiterhin mussten die Probanden mit einem Pullbuoy zwischen den Beinen schwimmen. So kann der unterschiedlich starke Einsatz der Beine zur Vortriebserzeugung bei den Probanden ausgeschlossen werden, da der Vortrieb fast ausschließlich aus den Armen erfolgt. Um für die Probanden die subjektive Einschätzung der Schwimmgeschwindigkeit für die drei Messungen zu erleichtern, wurden aus den individuellen maximalen Geschwindigkeit auf 50 m die Streckenzeiten für 80 und 90 % errechnet und dem Probanden mitgeteilt.

Die zweite Messung fand am gleichen Tag nach einer Pause von mindestens 30 Minuten im Strömungskanal statt. Die EMG-Elektroden wurden nicht vom Probanden entfernt, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Nach einer kurzen Einschwimmphase im Strömungskanal wurden auch bei dieser Messung drei Belastungsintensitäten geschwommen. Die eingestellten Geschwindigkeiten entsprechen den Durchschnittsgeschwindigkeiten der Freiwasseruntersuchung. Auch hier mussten die Probanden mit Schnorchel und Pullbuoy schwimmen.

Die dritte Messung wurde am AKZ durchgeführt. Um Ermüdungserscheinungen auf Grund der ersten zwei Tests vorzubeugen, betrug die Pause zwischen der zweiten und dritten Messung mindestens 30 Minuten. Nach einer erneuten Erwärmung führten die Probanden einen 2minütigen Kraftausdauer-Test durch. Zuvor mussten sie jedoch 10 Zyklen mit max. Anstrengung bei gleicher Zugeinstellung ziehen. Diese Werte dienten zur Bestimmung der prozentualen Belastung im Kraftausdauer-Test. Bei allen männlichen sowie bei allen weiblichen Probanden wurden die gleichen Bremswiderstände benutzt, um identische Bedingungen zu gewährleisten. Die Bremswiderstände, die eingestellt wurden, sind der Tab. 11 zu entnehmen.

Tab. 11: Bremslasteinstellung am AKZ für die weiblichen (w) und männlichen (m) Probanden

	Zugphase					Freilauf
	1.	2.	3.	4.	5.	
Zugweg [%]	0 - 20	20 - 50	50 - 60	60 - 80	80 - 100	
Bremslast w [%]*	10	15	25	25	25	100
Bremslast m [%]*	25	30	40	40	40	100

* (die Prozentwerte beziehen sich auf die max. einzustellende Kraft von 700 N)

3.1.1.5 Messparameter

Für alle drei Testorte (Freiwasser, Strömungskanal und Armkraftzuggerät) wurden die Aktivitäten von ausgewählten Muskeln der linken und rechten Arm-Schultermuskulatur bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (80, 90 und 100 %) mit einem 8-Kanal-EMG-Gerät (Glonner) gemessen. Folgende Muskeln wurden abgeleitet:

- M. latissimus dorsi,
- M. pectoralis major (pars sternocostalis),
- M. deltoideus (pars clavicularis) und
- M. triceps brachii (caput longum).

Während des Schwimmens im Strömungskanal wurden simultan die Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsänderungen der Hüfte über ein Drei-Faden-System gemessen. Diese Daten dienten u. a. zur Zuordnung von Aktivierungsmustern der ausgewählten

Muskeln zu den verschiedenen Zyklusphasen. Am AKZ wurden die entsprechenden Kraftwerte simultan zur EMG-Messung aufgezeichnet.

3.1.1.6 Datenverarbeitung und -auswertung

Vor der Datenverarbeitung wurden alle Roh-EMGs auf Artefakte kontrolliert und 15 Schwimmzyklen pro geschwommene Stufe und pro Proband zur weiteren Datenverarbeitung ausgewählt. Aus den EMG-Daten vom AKZ wurden die 15 Zyklen aus den ersten 30 s des Kraftausdauertests ausgewählt. Im Anschluss wurde das Roh-EMG mit Hilfe der Software „MyoResearch 98“ der Firma NORAXON gleichgerichtet (full wave rectification) und geglättet (über moving average 25) sowie zeitnormiert (15 Zyklen). Für die Zeitnormierung wurde der Schwimmzyklus wie folgt definiert: Er beginnt mit dem Eintauchen der rechten Hand in das Wasser, gefolgt von einer Zug- und Druckphase unter Wasser, dem Herausnehmen der Hand aus dem Wasser sowie der anschließenden Rückholphase über Wasser und endet mit dem wieder Eintauchen derselben Hand (vollständiges Eintauchen des Armes). Zur Reduktion der Variabilität zwischen Personen auf Grund divergierender Ableitbedingungen (Unterhautfettgewebe, Anzahl abgeleiteter motorischer Einheiten) erfolgte für alle Versuche eine Amplitudennormalisierung über die MVC. Aus den bearbeiteten Daten (zeitnormalisiert) wurden die mittlere und maximale Amplitude und das integrierte EMG (iEMG) bestimmt. Der iEMG-Wert ist dementsprechend der Flächeninhalt unter der zeitnormalisierten sowie amplitudennormalisierten gemittelten EMG-Kurve. Außerdem wurden die einzelnen Muskelinnervationen den Zyklusphasen zugeordnet, um bestimmte Aktivierungsmuster der ausgewählten Muskeln zu bestimmen. Dafür wurden aus den zeitnormalisierten EMG-Kurven aller Probanden die Mittelwerte für jeden der 8 abgeleiteten Muskeln berechnet.

Am Anfang der statistischen Überprüfung von signifikanten Unterschieden wurden alle Messwerte auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Es folgte dann die deskriptive Statistik mit der Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minima sowie Maxima. Für die Prüfung der Signifikanz der Mittelwertsunterschiede für Frequenzen, Zeit, Arbeit, Weg, Kraft, iEMG, Amplitudenmaximum (peak) sowie die Leistung wurde der t-Test für gepaarte Stichproben verwendet. Die Prüfung auf Signifikanz der Verläufe von EMG-Mustern erfolgte mittels der ANOVA mit Messwiederholung. Für alle statistischen Überprüfungen wurde das Programm „Statistica 6.0“ der Firma StatSoft, Inc. verwendet.

3.1.2 Ergebnisse

3.1.2.1 Daten vom Armkraftzuggerät

Die in Abb. 9 dargestellten Kraftkurven sind gemittelte Kurven von insgesamt 9 Leistungsschwimmern. Von jedem Schwimmer wurden die ersten 15 Zyklen des 2minütigen Kraftausdauertests für die Auswertung herangezogen (Gesamtanzahl der gemittelten Zyklen: 135).

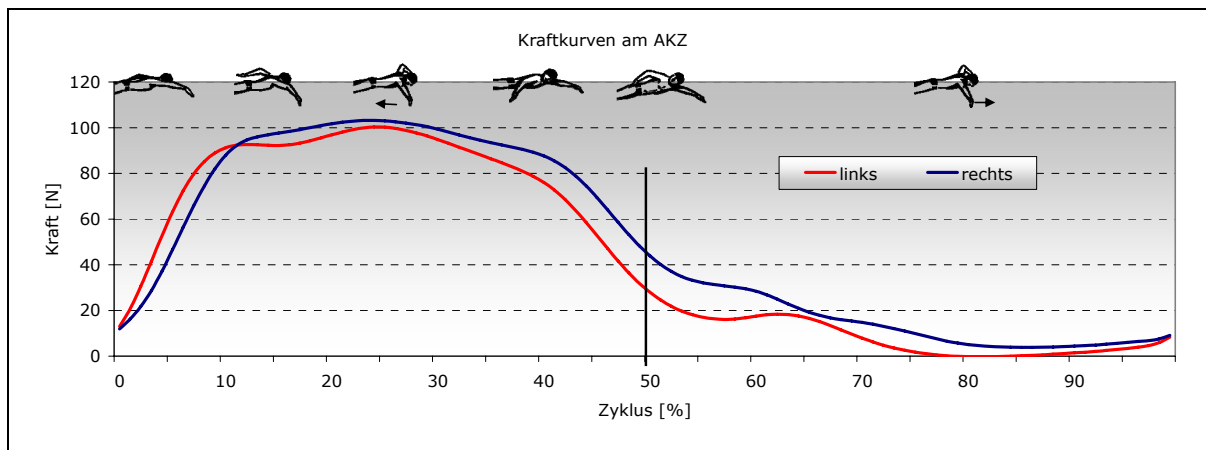


Abb. 9: Kraftkurven vom AKZ ($n = 9$; jeweils 15 Zyklen innerhalb der ersten 30 s)

Auffällig ist, dass die Kraftkurve der linken Seite unter der der rechten liegt sowie der Kraftabfall der linken Seite am Ende der Zug- und Druckphase früher einsetzt. Dafür zeigt diese am Anfang einen früheren Anstieg. Insgesamt weist die linke Seite eine kürzere Kraftentwicklungsphase als die rechte auf. Dies kann durch die Zugzeiten und Zugwege nachgewiesen werden, wie in Abb. 10 zu sehen ist.

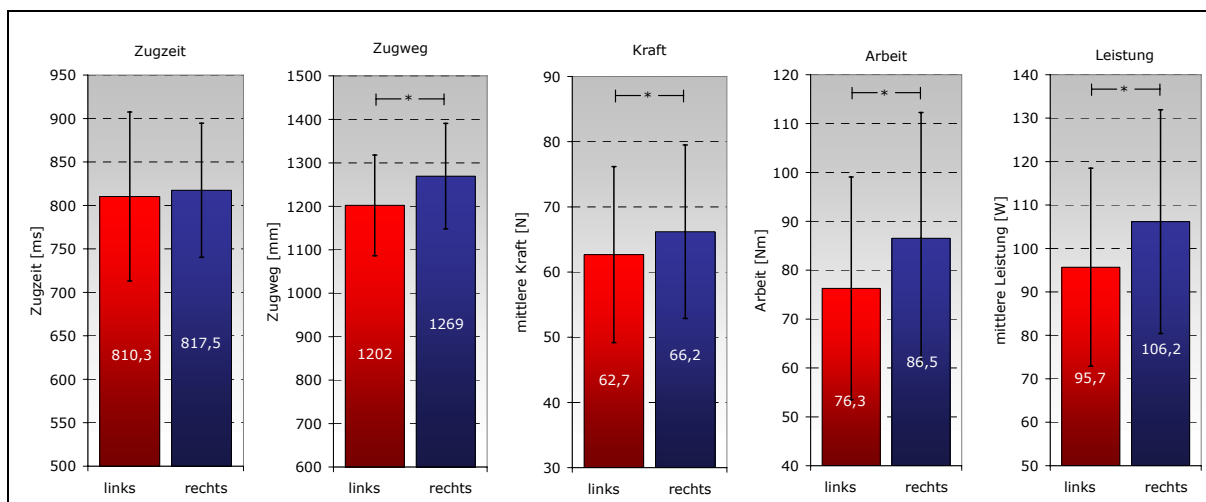


Abb. 10: Mittelwerte und Standardabweichung für Zugzeit, Zugweg sowie Kraft-, Arbeits- und Leistungswerte vom AKZ für den rechten und linken Arm (* $p < 0,05$; $n = 9$)

Die gemittelten Werte vom Zugweg, von der mittleren Kraft, der Arbeit und der mittleren Leistung zeigen für die linke Seite signifikant geringere Werte als für die rechte. Die leistungsdominante Seite ist bei dieser Testgruppe im Mittel die rechte.

Während der Kraftausdauer tests am AKZ wurden bei allen Probanden von 8 Muskeln (4 links und 4 rechts) die Elektromyogramme (EMG) aufgezeichnet. In den folgenden 3 Abbildungen sind die Aktivitäten vom M. latissimus dorsi, M. pectoralis major und vom M. triceps brachii im Verlauf des Zyklus für die rechts und linke Seite dargestellt. Die Werte der rechten und linken Seite sind so gegenübergestellt, dass die Graphen jeweils mit dem Zyklusanfang (Beginn Zugphase) beginnen und somit eine bessere Vergleichbarkeit gegeben ist. Am oberen Rand der Diagramme zeigen Piktogramme die ungefähren Zyklusphasen des rechten Armes an, die Zyklusphasen des linken Armes sind kongruent. Bei 50 % des Zyklus zeigt eine Linie das Ende der Zug- und Druckphase und den Beginn der Rückholphase an. Individuell können sich die beiden Phasen vom Verhältnis zueinander unterscheiden. Im Mittel ergab sich ein Phasenverhältnis von 50 zu 50 %.

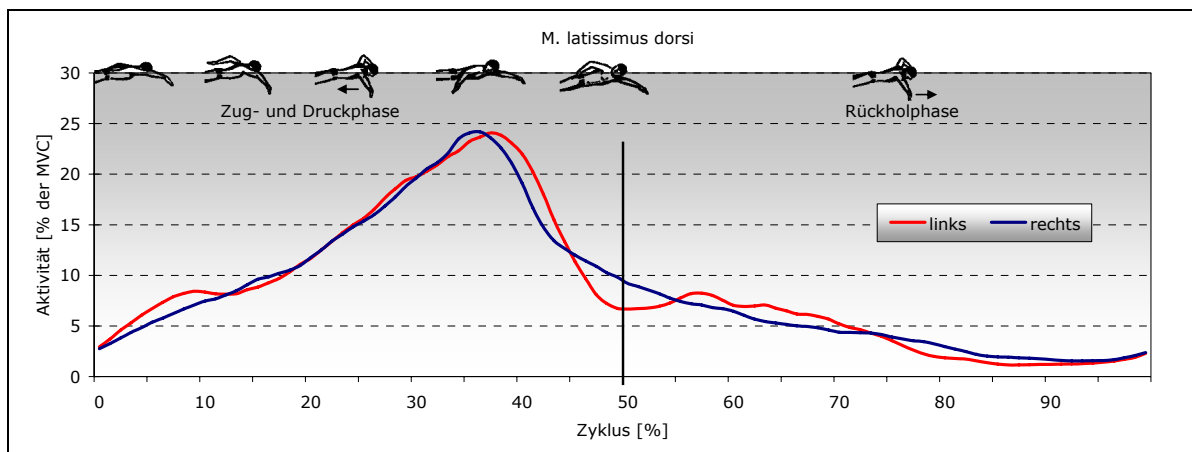


Abb. 11: Gemittelte EMG-Kurven des M. latissimus dorsi am AKZ (n = 9; 15 Zyklen pro Proband)

Die in Abb. 11 dargestellten EMG-Kurven des M. latissimus dorsi zeigen im Vergleich kaum Unterschiede. Die linke Seite zeigt einen geringfügig späteren Abfall der Aktivität in der Druckphase (bei ca. 38 % des Zyklus), die zum Ende dieser Phase niedrigere Werte als die rechte erreicht. Insgesamt zeigen beide Aktivitäten einen nahezu identischen Verlauf. Die Höhe der Aktivitäten befindet sich auf demselben Niveau und die Maxima werden fast zum selben Zeitpunkt erreicht. Die maximalen Amplituden der beiden Seiten unterscheiden sich kaum. Die linke Seite erreicht $26,8 \pm 8,6 \%$ und die rechte $26,6 \pm 9,1 \%$ (siehe Tab. 12). Die iEMG-Werte der beiden Seiten (links: $850,1 \pm 297,1 \%^2$; rechts: $809,8 \pm 220,1 \%^2$) zeigen zwar im Mittel einen geringen Unterschied, der sich aber auf Grund der großen Standardabweichung relativiert.

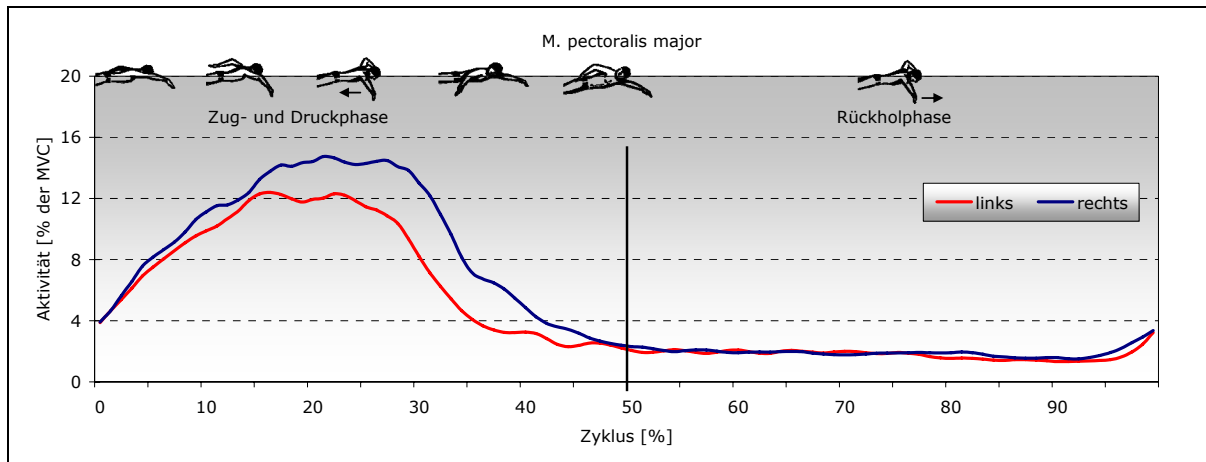


Abb. 12: Gemittelte EMG-Kurven des M. pectoralis major (pars sternocostalis) am AKZ (n = 9; 15 Zyklen pro Proband)

Die gemittelten EMG-Kurven des M. pectoralis major beider Seiten (siehe Abb. 12) zeigen einen analogen Verlauf, unterscheiden sich aber in der Höhe der Aktivität. Die Aktivität der rechten Seite zeigt deutlich höhere Werte als die der linken. Ferner weist die rechte einen längeren Aktivitätsverlauf auf. Letzteres wird u. a. durch die iEMG-Werte widerspiegelt (links: $492,6 \pm 149,3 \text{ } \%^2$; rechts: $554,6 \pm 266,6 \text{ } \%^2$). Die maximalen Amplituden sind links $16,2 \pm 6,0 \text{ } \%$ und rechts $21,2 \pm 11,6 \text{ } \%$ ($p = 0,1269$). Auf Grund der geringen Probandenzahl und der hohen Standardabweichung lassen sich keine signifikanten Unterschiede nachweisen.

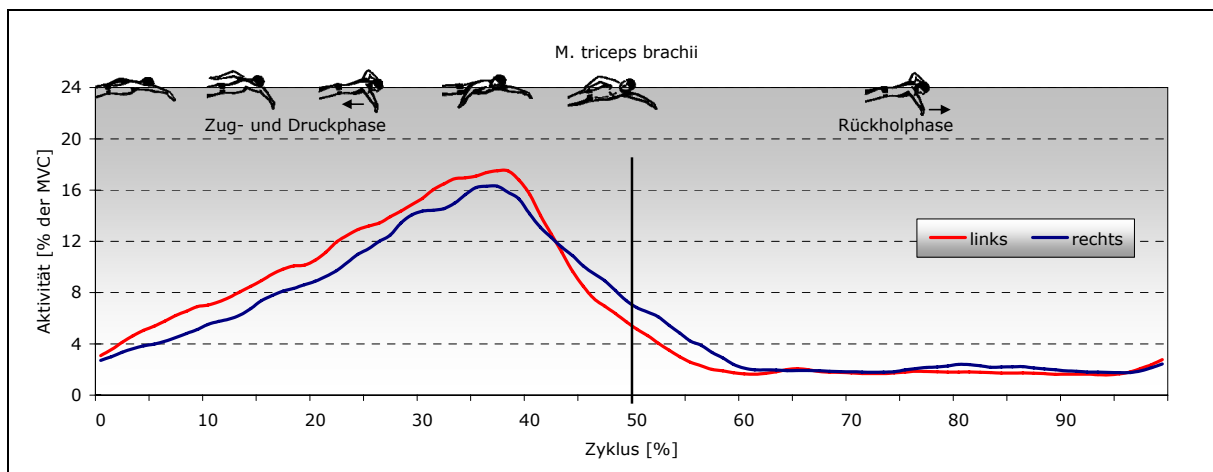


Abb. 13: Gemittelte EMG-Kurven des M. triceps brachii (caput longum) am AKZ (n = 9; 15 Zyklen pro Proband)

Beim M. triceps brachii sind die Verläufe – wie schon beim M. latissimus dorsi – identisch, was in der Abb. 13 zu sehen ist. Die Höhe der Aktivität ist aber bei der linken Seite größtenteils höher als bei der rechten. Wie beim M. latissimus dorsi ist der Abfall der Aktivität der linken Seite am Ende der Druckphase steiler. Die iEMG-Werte und die

maximalen Amplituden der beiden Seiten zeigen ähnliche Werte, wie in Tab. 12 dargestellt. Insgesamt sind die beiden EMG-Kurven identisch. Die Unterschiede sind nur marginal.

Tab. 12: iEMG-Werte und maximale Amplituden (peak) der acht abgeleiteten Muskeln für das AKZ (n = 9)

		M. pectoralis major*	M. latissimus dorsi*	M. triceps brachii*	M. deltoideus*
iEMG [%²]	li.	492,6 ± 149,3	850,1 ± 297,1	613,1 ± 146,4	185,8 ± 145,3
	re.	554,6 ± 266,6	809,8 ± 220,1	591,7 ± 141,6	210,3 ± 132,5
peak [%]	li.	16,2 ± 6,0	26,8 ± 8,6	21,1 ± 6,9	6,2 ± 6,1
	re.	21,2 ± 11,6	26,6 ± 9,1	20,7 ± 5,9	4,5 ± 3,1

*(Mw. ± SD.)

3.1.2.2 Daten vom Strömungskanal

Die gefundenen Seitenunterschiede waren nicht nur an Land an einem schwimmspezifischen Krafttrainings- und Diagnosegerät festzustellen, die Unterschiede zeigten sich bei den Leistungsschwimmern auch im Wasser. Die Probanden schwammen in einem Strömungskanal bei individueller maximaler Schwimmgeschwindigkeit. Dabei wurden über ein Drei-Faden-System, welches an der Hüfte des Schwimmers befestigt wurde, die Weg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsänderungen, die innerhalb eines Zyklus auftreten, gemessen. Die gemessenen intrazyklischen Geschwindigkeiten bei einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von 1,52 m/s (n = 9) sind in Abb. 14 abgebildet.

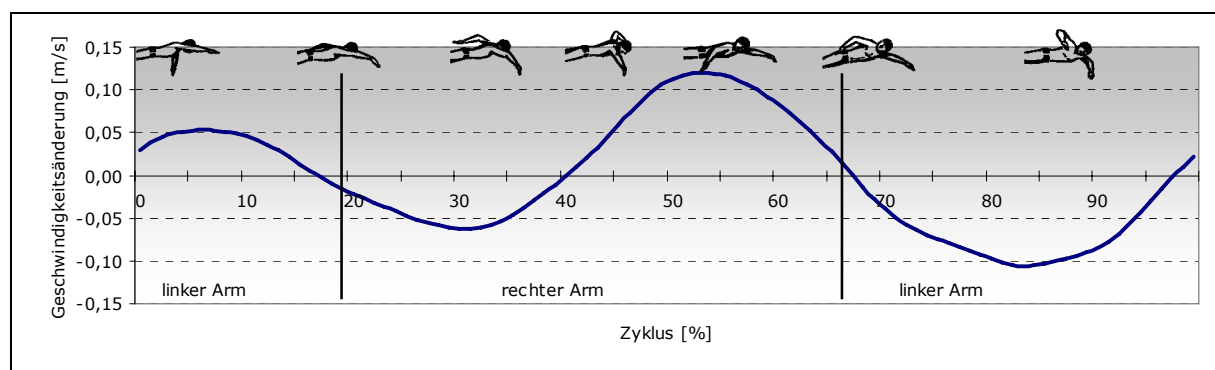


Abb. 14: Mittlere Geschwindigkeitsänderungen innerhalb eines Kraulschwimmzyklus bei einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von 1,52 m/s (9 Schwimmer mit jeweils 15 Zyklen)

Im dargestellten Geschwindigkeitsverlauf wird deutlich, dass die Schwimmgeschwindigkeit stärker abfällt und dass das Geschwindigkeitsminimum niedriger ist (bei 70 – 90 % des Zyklus im Vergleich zu 20 – 35 %), wenn der linke Arm die Unterwasserphasen durchläuft. Des Weiteren ist das Geschwindigkeitsmaximum in der Druckphase beim linken Arm (bei ca. 6 % des Zyklus) geringer als das vom rechten (bei ca. 53 % des Zyklus). Das Maximum der linken Seite erreicht die Hälfte der rechten.

Auch bei den Auswertungen der EMG-Daten, die bei den Probanden während des Schwimmens im Strömungskanal gemessen wurden, ergeben sich Differenzen zwischen den beiden Seiten der oberen Extremitäten. Die in Abb. 15 dargestellten gemittelten EMG-Kurven sind die des M. pectoralis major. Diese wurden aufgenommen in der 3. Stufe (max. Geschwindigkeit).

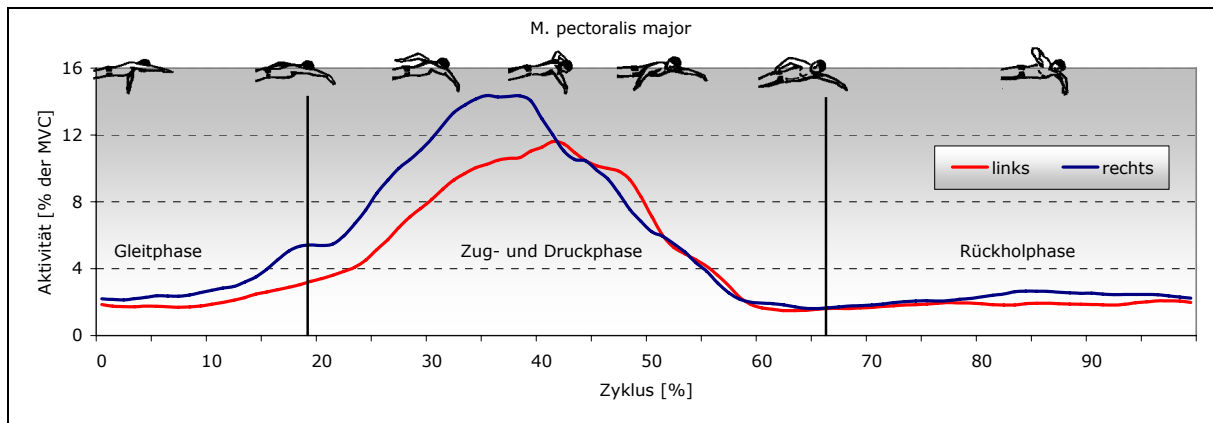


Abb. 15: Verlauf der Aktivitäten vom M. pectoralis major (pars sternocostalis) links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; $\bar{v} = 1,52$ m/s)

Der M. pectoralis major der rechten Seite zeigt im Mittel einen früheren Aktivitätsanstieg sowie ein höheres Aktivitätsmaximum (siehe Abb. 15). Die Maxima der beiden Seiten werden zum Ende der Zugphase bzw. Anfang der Druckphase (bei ca. 40 % des Zyklus) erreicht. Die höhere Aktivität der rechten Seite wird durch den iEMG-Wert und das höhere Maximum durch den peak-Wert bestätigt (siehe Tab. 13).

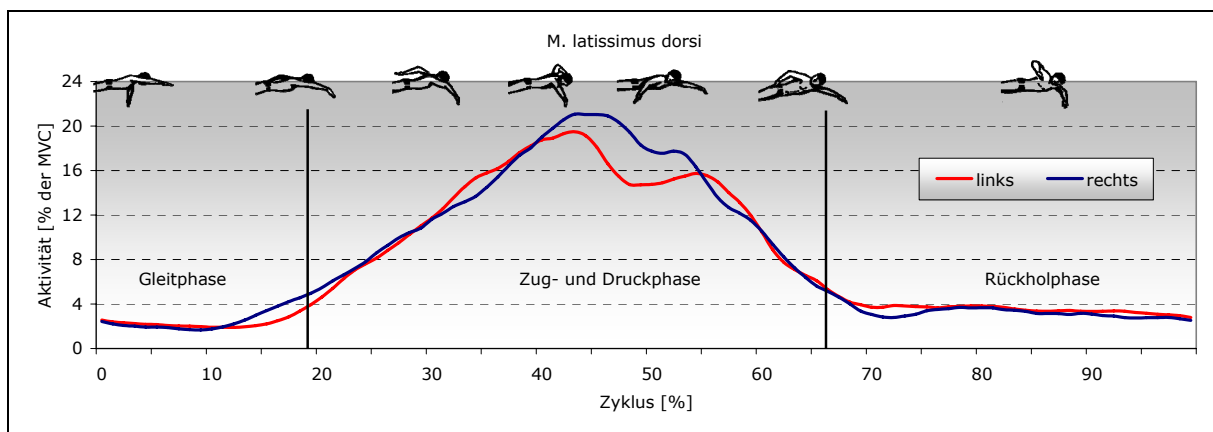


Abb. 16: Verlauf der Aktivitäten vom M. latissimus dorsi links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; $\bar{v} = 1,52$ m/s)

Beim Verlauf der Aktivität vom M. latissimus dorsi, wie in Abb. 16 dargestellt, sind im Vergleich der beiden Seiten Unterschiede im Übergang zwischen der Zug- zur Druckphase zu finden. Die iEMG-Werte der beiden Seiten zeigen einen sehr geringen

Unterschied und bei den maximalen Amplituden zeigt die rechte Seite einen gering höheren Wert (siehe Tab. 13). Die Unterschiede zeigen keine Signifikanz.

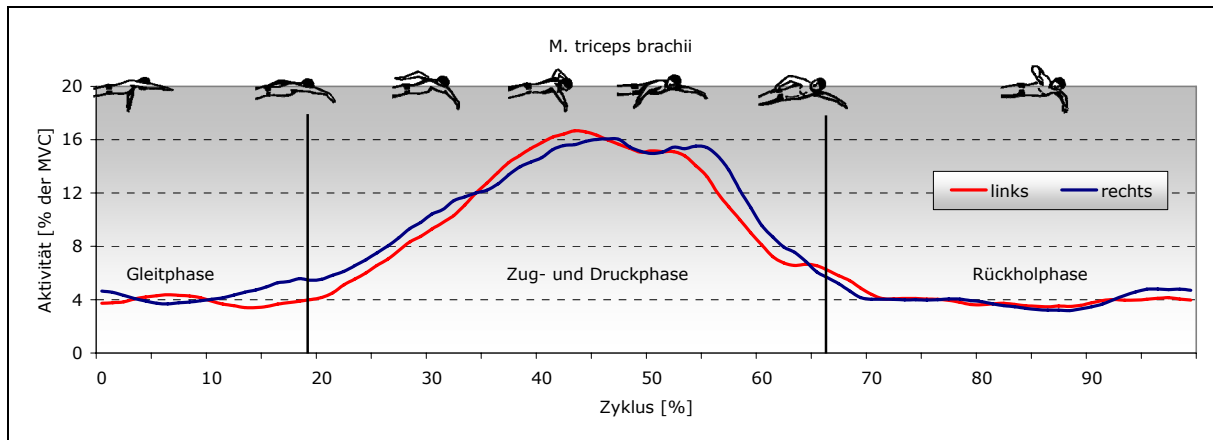


Abb. 17: Verlauf der Aktivitäten vom M. triceps brachii (caput longum) links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; $\bar{v} = 1,52$ m/s)

Einen identischen Verlauf zeigen die gemittelten Kurven der rechten und linken Seite des M. triceps brachii. Wie in der Abb. 17 zu sehen ist, weist die linke Seite lediglich einen gering früheren Abfall der Aktivität in der Druckphase auf (bei ca. 50 – 60 % des Zyklus). Die iEMG- und peak-Werte dieses Muskels unterscheiden sich kaum (siehe Tab. 13).

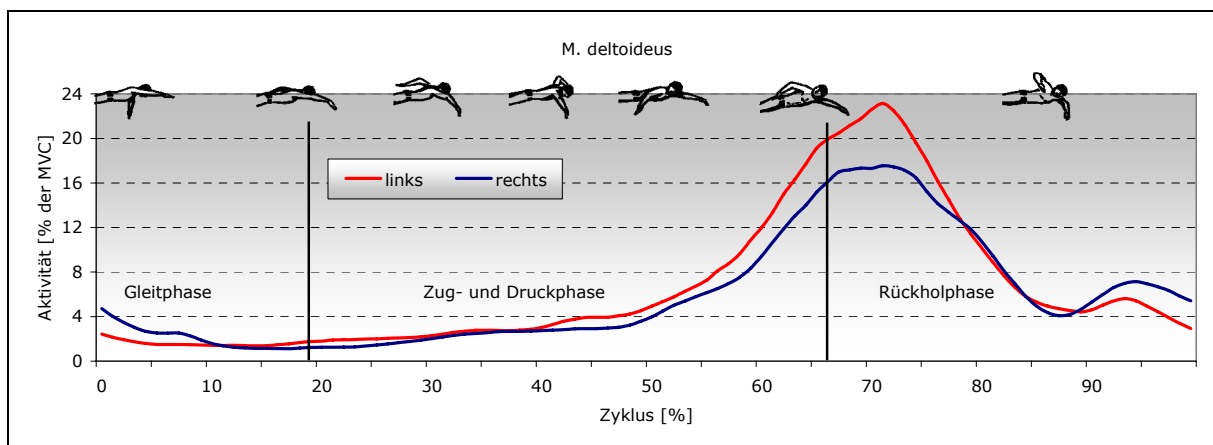


Abb. 18: Verlauf der Aktivitäten vom M. deltoideus (pars clavicularis) links sowie rechts, Strömungskanal (n = 9 mit jeweils 15 Zyklen; $\bar{v} = 1,52$ m/s)

Beim Aktivitätsverlauf des M. deltoideus (siehe Abb. 18) fällt auf, dass die linke Seite einen höheren Aktivitätsverlauf aufweist. Die höheren Werte zeigen auch der iEMG-Wert sowie der peak-Wert der linken Seite. Es muss aber die große Standardabweichung bei den beiden Werten dieser Seite wie in Tab. 13 dargestellt beachtet werden. Daher sind die Unterschiede auch hier nicht signifikant.

Tab. 13: iEMG-Werte und maximale Amplituden (peak) der acht abgeleiteten Muskeln für den Strömungskanal (3. Stufe, $\emptyset v = 1,52 \text{ m/s}$, $n = 9$)

		M. pectoralis major*	M. latissimus dorsi*	M. triceps brachii*	M. deltoideus*
iEMG [%²]	li.	446,8 ± 134,7	774,4 ± 264,6	740,5 ± 220,5	584,1 ± 385,0
	re.	517,6 ± 195,4	768,8 ± 286,6	784,6 ± 127,6	554,2 ± 229,2
peak [%]	li.	18,6 ± 4,5	26,1 ± 7,3	24,1 ± 8,9	24,6 ± 16,8
	re.	21,2 ± 6,3	27,4 ± 9,9	24,9 ± 6,4	20,8 ± 8,2

*(Mw. ± SD.)

3.1.3 Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt „EMG beim Schwimmen“ wurden insgesamt 12 Leistungsschwimmer beim Schwimmen in einer Schwimmhalle und im Strömungskanal sowie beim Ziehen auf einem Seilzugergometer untersucht. Nach der Elimination der Dropouts blieb eine Stichprobe von insgesamt 9 Leistungsschwimmern (5 weibliche und 4 männliche) zur Auswertung übrig. Ausgewertet wurden für diese Arbeit nur die Probanden, bei denen alle Daten (EMG von 8 Muskeln, Daten vom Drei-Faden-System, Zeit-, Weg- und Kraftwerte vom AKZ, Videos) ohne Fehler erfasst werden konnten.

Die Teilergebnisse der Leistungsschwimmer vom Armkraftzuggerät aus dem Forschungsprojekt „EMG beim Schwimmen“ zeigen, dass bei den untersuchten Leistungsschwimmern die linke Seite eine kürzere Kraftentwicklungsphase als die rechte aufweist, was an den erreichten Zugzeiten und -wegen zu erkennen ist. Die gemittelten Werte vom Zugweg, von der mittleren Kraft, der Arbeit und der mittleren Leistung zeigen für die linke Seite signifikant geringere Werte als für die rechte. Bei den EMG-Daten zeigt nur der M. pectoralis in der Höhe der Aktivität sowie in der Aktivitätsdauer Unterschiede zwischen beiden Seiten. Diese Unterschiede weisen aufgrund der geringen Probandenzahl und der hohen Standardabweichung keine Signifikanz auf. Beim M. latissimus dorsi und M. triceps brachii zeigen beide Seiten einen identischen Verlauf und nahezu gleiche Aktivitätswerte (iEMG und Maximale Amplitude).

Die an Land gefundenen Seitenunterschiede waren auch beim Schwimmen (Kraul) in einem Strömungskanal nachzuweisen. Die intrazyklischen Geschwindigkeitsschwankungen, die über ein Drei-Faden-System ermittelt wurden, zeigen sehr deutliche Differenzen zwischen den beiden Seiten. Die erreichten Geschwindigkeiten, wenn die linke Seite zieht, liegen weit unter denen der rechten Seite. Das Geschwindigkeitsmaximum der linken ist halb und das Minimum doppelt so groß. Das heißt, dass der Geschwindigkeitsabfall beim Ziehen der linken Seite größer und das Geschwindigkeitsmaximum geringer ausfallen als beim Durchzug der rechten Seite. Bei den EMG-Werten zeigt wie beim AKZ nur der M. pectoralis major deutliche Unterschiede im Verlauf sowie in den iEMG- und peak-Werten. Es lassen sich aufgrund hoher Standardabweichungen und geringer Probandenzahl keine Signifikanzen nachweisen. Bei

dem M. latissimus dorsi und beim M. triceps brachii finden sich identische Verläufe und nahezu gleiche iEMG- und peak-Werte. Der M. deltoideus, der für die Vortriebserzeugung beim Kraulschwimmen so gut wie keine Bedeutung hat, zeigt für die linke Seite eine höhere Aktivität bei einem analogen Verlauf.

Zusammenfassend kann aus diesen Daten für die untersuchte Stichprobe eine Seitendifferenz diagnostiziert werden. Diese manifestiert sich in den Kraft- und Leistungswerten, die die Leistungsschwimmer am AKZ erreichten, sowie in den intrazyklischen Geschwindigkeiten, die im Strömungskanal ermittelt wurden. Unterschiede sind auch im Elektromyogramm nachzuweisen. So zeigt der M. pectoralis bei beiden Untersuchungsbedingungen (AKZ und Strömungskanal) Unterschiede zwischen den beiden Seiten im Aktivitätsverlauf, im iEMG und in den maximalen Amplituden.

Ausgehend von den gemessenen Geschwindigkeitsdaten aus dem Strömungskanal und den Kraft- und Leistungswerten vom AKZ, kann der Unterschied der beiden Seiten als Leistungsreserve angesehen werden. Wenn z. B. beim Schwimmen im Strömungskanal der geringe Abfall und das Maximum der rechten Seite ebenfalls mit der linken realisiert werden könnte, dann wäre eine mittlere Geschwindigkeitssteigerung von 0,05 m/s die Folge. Dies ergibt sich als Differenz aus den beiden Maxima sowie Minima der intrazyklischen Geschwindigkeit, wie in Abb. 14 auf Seite 41 zu sehen ist. Dies würde auf 100 m Kraul ein Zeitgewinn von rund 2,1 s, auf 200 m \approx 4,2 s und auf 400 m \approx 8,4 s bedeuten.

Tab. 14: Ergebnisse vom Finale über 100 m Freistil der Frauen und Männer bei den Olympischen Spielen 2004 in Athen, beste Deutsche: Torsten Spanneberg 49,71 s (15.) und Franziska van Almsick 55,57 s (11.)

Rang	Männer				Frauen		
	Name	NOC	Zeit [s]		Name	NOC	Zeit [s]
1	van den Hoogenband, Pieter	 NED	48,17		Henry, Jodie	 AUS	53,84
2	Schoeman, Roland Mark	 RSA	48,23		de Bruijn, Inge	 NED	54,16
3	Thorpe, Ian	 AUS	48,56		Coughlin, Natalie	 USA	54,40
4	Neethling, Ryk	 RSA	48,63		Metella, Malia	 FRA	54,50
5	Magnini, Filippo	 ITA	48,99		Joyce, Kara Lynn	 USA	54,54
6	Draganja, Duje	 CRO	49,23		Niangkouara, Nery Mantey	 GRE	54,81
7	Iles, Salim	 ALG	49,30		Moravcova, Martina	 SVK	55,12
8 (7)	Kapralov, Andrey	 RUS	49,30		Popchanka, Alena	 BLR	55,24

Wenn man bedenkt, wie gering die Zeitunterschiede in einem internationalen Wettkampf wie beispielsweise beim 100 m Freistil Finale sind (siehe Tab. 14), stellt das Auftrainieren der schwächeren Seite eine erhebliche Leistungsreserve dar.

3.2 Untersuchungen am IAT

Die vorliegenden Daten sind Ergebnisse einer an der Nationalmannschaft Schwimmen durchgeführten Leistungsdiagnostik, die am Institut für Angewandte Trainingswissenschaft in Leipzig (IAT) durchgeführt wurde (Projekt Schwimmen, Frau Dr. M. Witt). Die Schwimmer wurden einmal bzw. zweimal im Jahr am IAT hinsichtlich ihrer Kraftfähigkeiten untersucht. An den Untersuchungen nahmen im Zeitraum von 1996 bis 2004 insgesamt 124 Schwimmer (56 Männer und 68 Frauen) teil. Ausgewertet wurden ausschließlich die am Armkraftzuggerät (AKZ) erhobenen Daten.

3.2.1 Methodik

3.2.1.1 Probanden

Die untersuchten 124 Schwimmer gehörten zur Zeit der Tests der Nationalmannschaft Schwimmen an und waren dementsprechend Kadersportler (A oder B). Im Zeitraum von 1996 bis 2004 wurden insgesamt 426 Tests absolviert. Eine Verteilung der Testanzahl pro Schwimmer für die gesamte Stichprobe zeigt die Abb. 19.

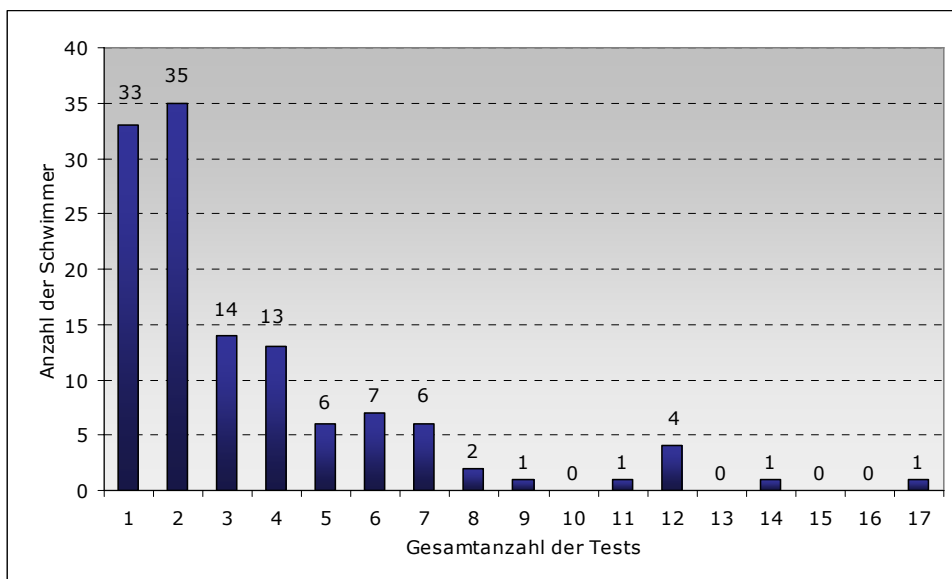


Abb. 19: Häufigkeitsverteilung der Gesamttestanzahl pro Schwimmer (n = 124)

Statistisch überprüft wurden die 1- und 2-minütigen KA-Tests der Lagen Freistil bzw. Kraul (alternierende Bewegung) und Schmetterling (synchrone Bewegung). Tests, die in der Rückenlage stattfanden oder ein 4-Minuten-KA-Test waren, wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. So konnten insgesamt 114 Leistungsschwimmer (50 männliche und 64 weibliche) mit 384 Tests analysiert werden.

3.2.1.2 Messort und -geräte

Die komplexe Leistungsdiagnostik (KLD) der Nationalmannschaft Schwimmen fand am Institut für angewandte Trainingswissenschaft Leipzig (IAT) statt. Im Rahmen der KLD wurde an einem Armkraftzuggerät (AKZ) ein semispezifischer Kraftausdauertest durchgeführt.

Das AKZ, ein Seilzugergometer, das vom Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) in Zusammenarbeit mit dem IAT entwickelt und gebaut wurde, ist seit dem Olympiazzyklus 1996 - 2000 offizielles Diagnosegerät des Deutschen Schwimmverbandes. Die Leistungsdiagnostik umfasst u. a. einen Maximalkraft- und einen Kraftausdauertest, welche die Sportler absolvierten. Neben dem Einsatz als Diagnosegerät wird das AKZ auch als trainingsbegleitender Messplatz eingesetzt. Die Gerätespezifikationen sind im Kapitel 5.3.2 „Armkraftzuggerät (AKZ)“ unter Methodik dargestellt.

3.2.1.3 Messparameter

Am AKZ werden die Wege, die Zeiten sowie die produzierten Kräfte für die linke und rechte Seite gemessen. Diese erhobenen Daten dienen als Basis für die Berechnung der Parameter Zug- bzw. Schlagfrequenz, Zugweg, Zugzeit, maximale Geschwindigkeit, mittlere Kraft, Kraftmaximum sowie mittlere Leistung. Anzumerken ist, dass die berechneten Daten sich auf einen Zyklus beziehen und bis auf die Zugfrequenz immer für die linke und rechte Seite vorliegen. Die Berechnungsformeln der einzelnen Parameter sowie die Einteilung eines Zyklus für die Berechnungen sind der Tab. 30 (S. 65) und Tab. 34 (S. 73) sowie der Abb. 24 (S. 65) zu entnehmen.

3.2.1.4 Untersuchungsdesign der KLD

Die komplexe Leistungsdiagnostik am IAT für die Schwimmer der Nationalmannschaft wird an einem Tag absolviert. Diese umfasst eine sportmedizinische Untersuchung, Tests zur Bestimmung konditioneller Leistungsvoraussetzungen sowie Verfahren zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit von Bewegungsabläufen unter wettkampfnahen Bedingungen. Für die Bestimmung der konditionellen Leistungsvoraussetzungen werden die folgenden Tests bzw. Versuche absolviert:

- Stufentest zur Bestimmung der Laktat-Leistungskurve für die Hauptschwimmart,
- Tests zur Bestimmung der Antriebsleistung der oberen Extremitäten am Armkraftzuggerät unter verschiedenen Arbeitsbedingungen,

- Tests zur Bestimmung der Sprintleistung in der Hauptschwimmlage (ohne und mit einem Zusatzgewicht),
- Streckensprungtest mit und ohne Armschwung zur Bestimmung der Sprungkraft,
- Tests zur Bestimmung des Verlaufs der Geschwindigkeit mit der Delfinbewegung,
- Tests zur Bestimmung der Beweglichkeit (Fuß, Schulter) (WITT 2003).

Für die Bestimmung der Antriebsleistung der oberen Extremitäten unter verschiedenen Arbeitsbedingungen (zweiter Punkt) sind drei Tests am Armkraftzuggerät zu durchlaufen. Mit dem ersten Test werden die grundlegenden Kraftvoraussetzungen der oberen Extremitäten bei einer zyklischen Armzugbewegung gegen verschieden hohe Widerstände ermittelt. Dafür müssen die Sportler 5 maximale Züge (synchrone Armbewegung in Bauchlage: Schmetterling) gegen 5 verschiedene Widerstände mit einer Pause von etwa 1 Minute absolvieren. Beim zweiten Test wird die maximale Energieabgabe in einem Schnellkraftausdauer-test mit einem semispezifischen Armzugtest mit sprinttypischer Dauer bestimmt. Die Schwimmer absolvieren dafür 10 maximale Züge mit einer Bewegungsausführung und einem Widerstand wie im anschließenden Kraftausdauer-test. Mit dem Kraftausdauer-test (dritter Test) wird die Ermüdungsresistenz bei einem semispezifischen Armzugtest am AKZ mit wettkampfspezifischer Dauer ermittelt. Die Schwimmer absolvieren diesen Test über 1, 2 oder 4 Minuten in der Rückenlage (alternierende Armbewegung: Rücken-kraul) oder in der Brustlage (synchrone Armbewegung: Schmetterling; alternierende Armbewegung: Kraul). Die einzustellenden Bewegungswiderstände sind abhängig von der Zugart (S/F), der Zugdauer (1/2/4) und dem Geschlecht (m/w) der Schwimmer. Detailliertere Ausführungen zur komplexen Leistungsdiagnostik am IAT sind FREITAG (2000) und HAHN (2003) zu entnehmen.

3.2.1.5 Datenverarbeitung und Auswertung

Es wurden die Mittelwerte, die Standardabweichungen sowie die Häufigkeiten berechnet. Ferner wurden die Unterschiede statistisch auf Signifikanz ($p < 0,05$) überprüft. Die Berechnungen zur Überprüfung der Signifikanz erfolgten mit Hilfe des t-Tests für gepaarte sowie für unabhängige Stichproben (je nach Gruppeneinteilung). Für die Berechnungen und die statistischen Überprüfungen wurden die Programme „Statistica 6.1“ der Firma StatSoft, Inc. und „Excel“ (Office 2003) von Microsoft® verwendet.

3.2.2 Ergebnisse

In den folgenden Ergebnisdarstellungen werden zum einen die Ergebnisse der Querschnittsuntersuchung (82 Schwimmer) und zum anderen die der Längsschnittsuntersuchung (29 Schwimmer) ausführlich vorgestellt.

3.2.2.1 Querschnittsuntersuchung

Eine Altersverteilung der Schwimmer, die am IAT an der komplexen Leistungsdiagnostik teilnahmen und am AKZ in der Zugart Schmetterling (synchrone Bewegung) oder Freistil (alternierende Bewegung) eine oder zwei Minuten gezogen haben, zeigt Tab. 15. Es werden die Mittelwerte (Mw.) und Standardabweichungen (SD.) für die Tests 1 bis 4 dargestellt.

Tab. 15: Altersverteilung im Querschnitt (über 4 Tests)

	männlich		weiblich		gesamt	
	n	Alter*	n	Alter*	n	Alter*
Test 1	50	20,1 ± 2,9	64	18,2 ± 3,1	114	19,0 ± 3,2
Test 2	43	21,2 ± 2,9	39	19,2 ± 3,2	82	20,2 ± 3,2
Test 3	27	21,5 ± 2,3	21	20,7 ± 3,7	48	21,0 ± 3,0
Test 4	18	22,3 ± 2,3	11	22,0 ± 4,1	29	22,2 ± 3,0

* (Mw. ± SD.)

In der folgenden Tabelle (Tab. 16) sind die Verteilungen auf die Zugarten für die Tests 1 bis 4 zu finden. Zum einen wurde in einer alternierenden (Freistil bzw. Kraul) und zum anderen in einer synchronen Bewegungsausführung (Schmetterling) gezogen.

Tab. 16: Verteilung der Zugart im Querschnitt (über 4 Tests)

	Freistil	Schmetterling	gesamt
Test 1	61	53	114
Test 2	43	39	82
Test 3	27	21	48
Test 4	17	12	29

Für den 1. Test erfolgten keine statistischen Auswertungen. Grund hierfür ist die für einige Schwimmer neue Leistungsdiagnostik auf einem Seilzuggerät. Des Weiteren wurde Ende 1996 die Berechnungsvorschrift für die innerzyklische Leistung derart verändert, dass die Daten im Längsschnitt nicht vergleichbar sind. So wurden in der folgenden Auswertung 270 KA-Tests von 82 Leistungsschwimmern (43 männliche und 39 weibliche) statistisch überprüft.

Für die Querschnittsuntersuchung wurden die Werte der mittleren Leistung (P_{mit}), der mittleren Kraft (F_{mit}), der maximalen Geschwindigkeit (v_{max}), des Zugweges (s) und der Zugzeit (t) im Vergleich links vs. rechts der Tests 2 bis 4 statistisch auf Signifikanz auf ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ überprüft. Hierzu wurde die stärkere der schwächeren Seite gegenübergestellt. Die Sortierung erfolgte anhand des Parameters „mittlere Leistung“, die Zuordnung der anderen Parameter zur jeweiligen Seite blieb erhalten.

Ein prozentualer Unterschied der mittleren Leistung zwischen den beiden Seiten (rechts vs. links) lässt auf eine Lateralität der oberen Extremitäten in Bezug auf das Schwimmen schließen. So befinden sich 59,8 % der Schwimmer unterhalb und 40,2 % oberhalb von

5 % Seitendifferenz. Eine detaillierte Häufigkeitsverteilung zeigt die Abb. 20. Auffallend sind 4 Schwimmer, die eine prozentuale Differenz von über 10 % aufweisen (ein Schwimmer zeigt eine Differenz von 25,5 %).

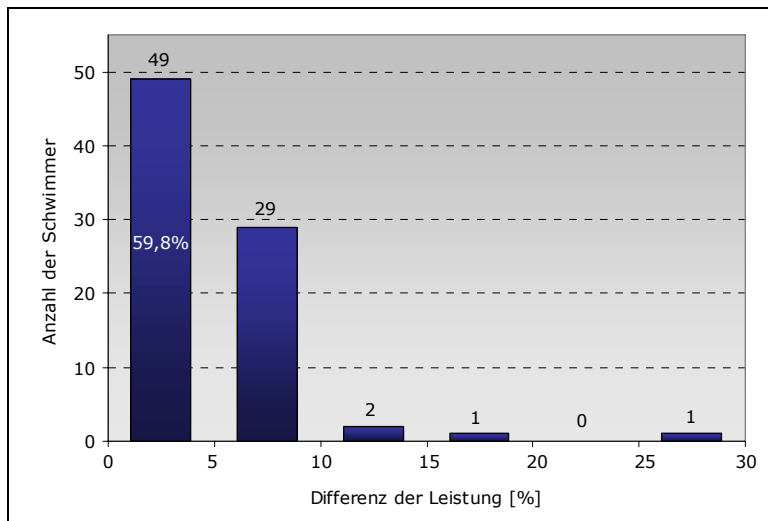


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der prozentualen Differenz der mittleren Leistung (P_{mit}) beim 2. Test ($n = 82$; Querschnitt)

Differenzierung nach der Zugart

Die Ergebnisse des 2. Tests getrennt nach der stärkeren und schwächeren Seite sowie differenziert nach Freistil und Schmetterling sind in der Tab. 17 abgebildet.

Tab. 17: Ergebnisse des 2. Tests (Querschnitt); st. – stärkere, schw. - schwächere

	Seite	Freistil (n=43)		Schmetterling (n=39)		gesamt (n=82)	
		Mw. ± SD.	p	Mw. ± SD.	p	Mw. ± SD.	p
P_{mit} [W]	st.	196,5 ± 67,6	< 0,001	203,6 ± 77,9	< 0,001	199,9 ± 72,3	< 0,001
	schw.	185,9 ± 63,3		196,4 ± 75,4		190,9 ± 69,1	
F_{mit} [N]	st.	88,1 ± 24,0	< 0,001	96,4 ± 26,6	0,001	92,1 ± 25,5	< 0,001
	schw.	85,4 ± 23,4		94,6 ± 27,0		89,8 ± 25,5	
v_{max} [m/s]	st.	3,40 ± 0,40	0,002	3,18 ± 0,45	0,001	3,30 ± 0,44	< 0,001
	schw.	3,33 ± 0,40		3,12 ± 0,43		3,23 ± 0,43	
s [mm]	st.	1379,9 ± 115,8	0,381	1359,0 ± 124,4	< 0,001	1367,0 ± 119,7	0,006
	schw.	1373,4 ± 123,9		1339,7 ± 120,3		1357,3 ± 122,6	
t [ms]	st.	633,5 ± 69,5	0,007	663,3 ± 64,5	0,981	647,7 ± 68,4	0,028
	schw.	644,5 ± 68,2		663,4 ± 59,2		653,5 ± 64,3	

Mit Ausnahme der Ergebnisse des Zugweges bei Freistil und der Zugzeit bei Schmetterling zeigen alle anderen im Vergleich zwischen der stärkeren und der schwächeren Seite signifikante Unterschiede.

Die Häufigkeitsverteilungen für die prozentuale Differenz der mittleren Leistung getrennt nach den Lagen für den 2. Test ergibt folgendes Ergebnis: In der Gruppe „Freistil“ ($n = 43$) liegen 44,2 % über der 5 % Seitendifferenz und in der Gruppe „Schmetterling“ ($n = 39$) 35,9 %.

Ein Vergleich der absoluten Seitendifferenzen zwischen den Zugstilen Freistil und Schmetterling zeigt die Tab. 18. Eine signifikant größere absolute Differenz ist bei der Zugzeit in der Zugart Freistil nachzuweisen. Bei allen anderen Parametern sind die absoluten Unterschiede weder signifikant noch tendenziell. Grund hierfür sind die großen Standardabweichungen im Vergleich zu den Mittelwerten wie beispielsweise beim Zugweg mit $6,58 \pm 48,74$ mm bei Freistil und $19,31 \pm 28,05$ mm bei Schmetterling.

Tab. 18: Absolute Differenzen der Ergebnisse des 2. Tests im Vergleich zwischen Freistil und Schmetterling (Querschnitt)

Parameter	Freistil (n=43) Mw. \pm SD.	Schmetterling (n=39) Mw. \pm SD.	p
ΔP_{mit} [W]	10,64 \pm 12,31	7,23 \pm 5,57	0,116
ΔF_{mit} [N]	2,76 \pm 4,17	1,83 \pm 3,22	0,265
Δv_{max} [m/s]	0,07 \pm 0,14	0,05 \pm 0,09	0,558
Δs [mm]	6,58 \pm 48,74	19,31 \pm 28,05	0,157
Δt [ms]	10,99 \pm 25,37	0,07 \pm 19,88	0,034

Die Frage nach der leistungsfähigeren Seite zeigt im Ergebnis folgendes Bild (siehe Tab. 19): Bei den „Freistilern“ findet sich eine gleichmäßige Verteilung auf beide Seiten und bei den Schwimmern, die Schmetterling gezogen haben, ist die linke Seite überwiegend die leistungsstärkere.

Tab. 19: Leistungsstärkere Seite der Schwimmer beim KA-Test (Test 2; n = 82)

	links	rechts	gesamt
Freistil	21	22	43
Schmetterling	27	12	39
gesamt	48	34	82

Differenzierung nach dem Geschlecht

Bei einer Differenzierung nach dem Geschlecht (43 Männer, 39 Frauen) ist ein signifikanter Unterschied mit einem Wert von $p = 0,014$ zwischen den Gruppen bei der absoluten Leistungsdifferenz zu finden. Die männlichen Schwimmer zeigen eine absolute Differenz zwischen der stärkeren und schwächeren Seite von $11,53 \pm 12,34$ W und die weiblichen eine von $6,25 \pm 4,65$ W. Der mittlere prozentuale Unterschied zwischen der stärkeren und schwächeren Seite unterscheidet sich dagegen kaum: Männern 4,50 % und Frauen 4,35 %. Eine weitere Differenzierung zwischen Freistil und Schmetterling ergab bei der synchronen Zugart Schmetterling einen signifikanten Unterschied bei der absoluten Leistungsdifferenz (S_m : $9,08 \pm 6,44$ W; S_w : $5,47 \pm 4,01$ W; $p = 0,042$). Auch hier unterscheiden sich die prozentualen Differenzen nicht signifikant voneinander (S_w : 3,56 %; S_m : 3,55 %). Bei allen anderen Parametern (Kraft, Geschwindigkeit, Weg und Zeit) zeigten die Vergleiche der absoluten Differenzen keine Signifikanz. Es sind lediglich Tendenzen bei der Zugart Freistil in der absoluten Leistungsdifferenz (F_m : $13,46 \pm 15,38$ W; F_w : $7,07 \pm 5,22$ W; $p = 0,091$; prozentuale Diff. F_m : 5,26 %; F_w :

5,19 %), bei den männlichen Schwimmern in der Zugzeit (Fm vs. Sm, $p = 0,077$) sowie bei der Zugart Schmetterling in der max. Geschwindigkeit (Sm vs. Sw, $p = 0,067$) und in dem Zugweg (Sm vs. Sw, $p = 0,098$) zu finden. Alle Seitendifferenzen sowie die p-Werte der Signifikanztests sind im Anhang zu finden (Tab. A 1 bis Tab. A 4).

Differenzierung nach der Zugdauer

Wird die Stichprobe nach der Testdauer (1 Min. $n = 38$; 2 Min. $n = 44$) getrennt untersucht, finden sich bei der Gruppe „1 Min.“ signifikante Unterschiede zwischen der stärkeren und der schwächeren Seite bei allen Parametern bis auf den Zugweg. Bei der Betrachtung der Gruppe „2 Min.“ zeigt nur die Zugzeit keinen signifikanten Unterschied. Bei allen anderen Vergleichen sind die Unterschiede zwischen den beiden Seiten signifikant (siehe Tab. A 5 im Anhang).

Bei einem Vergleich der absoluten Differenzen der einzelnen Parameter zwischen den beiden Gruppen ist ein signifikanter Unterschied bei der Zugzeit ($p = 0,045$) sowie bei der mittleren Leistung ($p = 0,012$) zu finden. Die Gruppe, die 1 Minute gezogen hat, zeigt eine signifikant höhere absolute Differenz der Leistung ($11,93 \pm 13,17$ W; proz. Differenz: 5,2 %) und eine höhere absolute Differenz der Zugzeit ($-11,36 \pm 25,70$ ms) als die Gruppe mit den 2minütigen KA-Tests. Dort ist die absolute Differenz der Leistung $6,50 \pm 4,21$ W (proz. Differenz: 3,8 %) und die der Zugzeit beträgt $-0,99 \pm 20,38$ ms. Bei einer weiteren Differenzierung der Gruppen nach der Zugart Freistil (1F, 2F) und Schmetterling (1S, 2S) ist ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen 1F und 2F sowie zwischen den Gruppen 1F und 1S bei der Zugzeit zu finden. Die Gruppe 1F zeigt eine signifikante höhere absolute Differenz der Zugzeit ($-19,92 \pm 24,61$ ms) als die Gruppe 2F ($-1,63 \pm 23,14$ ms) mit einem Wert von $p = 0,016$ sowie die Gruppe 1S ($-0,40 \pm 22,93$ ms) mit einem Wert von $p = 0,014$. Alle Seitendifferenzen sowie die p-Werte der Signifikanztests sind ebenfalls im Anhang zu finden (bis Tab. A 8).

Differenzierung nach Geschlecht, Zugstil und Zugdauer

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Gruppen (Männer vs. Frauen, Freistil vs. Schmetterling und 1 Min. vs. 2 Min.) dargestellt. Für eine umfassende Analyse und Betrachtung ist es jedoch erforderlich, eine tiefer gehende bzw. weiterführende Differenzierung dieser oben genannten Gruppen vorzunehmen. Im Folgenden werden die entsprechenden Ergebnisse näher beschrieben.

Bei einer Differenzierung nach Geschlecht, Zugstil und Zugdauer können 8 Gruppen gebildet (Zugdauer/Zugstil/Geschlecht: 1Fm, 2Fm, 1Sm, 2Sm, 1Fw, 2Fw, 1Sw und 2Sw) und miteinander verglichen werden. Die folgende Tabelle (Tab. 20) zeigt die absoluten

Seitendifferenzen der einzelnen Parameter getrennt nach Geschlecht, Zugstil und Zugdauer.

Tab. 20: Mittelwert und Standardabweichung der absoluten Differenzen aller Parameter getrennt nach Zugstil, -dauer und Geschlecht für den 2. Test (n = 82; Querschnitt)

		Freistil (n=43)		Schmetterling (n=39)	
		1. Min.	2. Min.	1. Min.	2. Min.
Männer (n=43)	n	12	12	9	10
	$\Delta P_{mit} [W]^*$	19,04 ± 20,17	7,89 ± 4,47	12,30 ± 7,06	6,18 ± 4,34
	$\Delta F_{mit} [N]^*$	4,00 ± 6,39	2,23 ± 2,86	2,23 ± 3,89	0,90 ± 3,09
	$\Delta v_{max} [m/s]^*$	0,10 ± 0,16	0,04 ± 0,17	0,11 ± 0,09	0,06 ± 0,08
	$\Delta s [mm]^*$	0,17 ± 64,55	11,85 ± 55,08	31,39 ± 32,84	22,95 ± 27,43
	$\Delta t [ms]^*$	-22,34 ± 26,23	-3,06 ± 20,04	-0,24 ± 19,41	-1,52 ± 11,09
Frauen (n=39)	n	10	9	7	13
	$\Delta P_{mit} [W]^*$	8,40 ± 5,81	5,58 ± 4,31	4,28 ± 4,09	6,11 ± 3,98
	$\Delta F_{mit} [N]^*$	2,33 ± 2,96	2,28 ± 3,35	1,24 ± 2,35	2,58 ± 3,34
	$\Delta v_{max} [m/s]^*$	0,07 ± 0,10	0,06 ± 0,12	0,03 ± 0,07	0,03 ± 0,11
	$\Delta s [mm]^*$	2,27 ± 34,20	12,91 ± 32,90	13,38 ± 22,18	11,35 ± 27,43
	$\Delta t [ms]^*$	-17,01 ± 23,57	0,27 ± 27,93	1,22 ± 28,48	0,45 ± 22,35

* (Mw. ± SD.)

Beim Vergleich der absoluten Seitendifferenzen der einzelnen Parameter sind zwischen den Gruppen 1Fm und 1Sm bei der Zugzeit (t), 1Sm und 2Sm sowie 1Sm und 1Sw bei der mittleren Leistung (P_{mit}) signifikante Unterschiede zu finden. Tendenzielle Unterschiede ($0,10 > p > 0,05$) sind bei den Vergleichen von 1Fm mit 2Fm bei der mittleren Leistung (P_{mit}), 1Fm mit 2Fm bei der Zugzeit (t) und 1Sm mit 1Sw bei der maximalen Geschwindigkeit (v_{max}) sichtbar (siehe Tab. 20 sowie Tab. A 9 im Anhang).

3.2.2.2 Längsschnittuntersuchung

Für die Längsschnittuntersuchung wurden die Tests 1 bis 4 herangezogen. Wie bereits bei der Querschnittuntersuchung wurde auch hier der 1. Test nicht mit berücksichtigt, so dass insgesamt 3 Tests ausgewertet wurden. Bei der Längsschnittuntersuchung der AKZ-Daten konnten insgesamt die Daten von 29 Schwimmern (18 männlichen und 11 weiblichen) ausgewertet werden. Die Altersverteilung der Schwimmer ist in Tab. 21 abgebildet.

Tab. 21: Altersverteilung im Längsschnitt (über 4 Tests)

	männlich		weiblich		gesamt	
	n	Alter*	n	Alter*	n	Alter*
Test 1	18	19,9 ± 2,2	11	19,8 ± 4,1	29	19,8 ± 3,0
Test 2	18	20,9 ± 2,1	11	20,6 ± 4,0	29	20,8 ± 2,9
Test 3	18	21,8 ± 2,5	11	21,5 ± 3,9	29	21,7 ± 3,0
Test 4	18	22,3 ± 2,3	11	22,0 ± 4,1	29	22,2 ± 3,0

* (Mw. ± SD.)

Von den 18 männlichen Schwimmern haben 11 Freistil und 7 Schmetterling am AKZ gezogen, bei den 11 weiblichen 6 Freistil und 5 Schmetterling (insgesamt 17 Schwimmer zogen Freistil und 12 Schmetterling).

Wie bei der Querschnittsuntersuchung wurden für die Längsschnittsuntersuchung die Werte der mittleren Leistung (P_{mit}), der mittleren Kraft (F_{mit}), der maximalen Geschwindigkeit (v_{max}), des Zugweges (s) und der Zugzeit (t) im Vergleich links vs. rechts der Tests 2 bis 4 statistisch auf Signifikanz auf einem Niveau von $p < 0,05$ überprüft. Hierzu wurde die leistungsfähigere der schwächeren Seite gegenübergestellt. Die Sortierung erfolgte anhand des Parameters „mittlere Leistung“, die Zuordnung der anderen Parameter zur jeweiligen Seite blieb erhalten.

Die Ergebnisse des 2., 3. und 4. Tests im Längsschnitt (siehe Tab. 22) unterscheiden sich kaum von den Ergebnissen der Querschnittsuntersuchung. Die Vergleiche der beiden Seiten (stärkere vs. schwächere) für die drei Tests zeigen bis auf den Zugweg und beim Test 3 der Zugzeit signifikante Unterschiede. Bei der Zugzeit ist im 3. Test die Tendenz zu einem signifikanten Unterschied zu erkennen ($p = 0,080$).

Tab. 22: Ergebnisse der Tests 2, 3 und 4 ($n = 29$; Längsschnitt); st – stärkere, schw. – schwächere

	Seite	Test 2		Test 3		Test 4	
		Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p
P_{mit} [W]	st.	233,4 \pm 84,0	< 0,001	229,6 \pm 79,1	< 0,001	221,9 \pm 74,7	< 0,001
	schw.	220,9 \pm 79,6		217,5 \pm 77,5		210,3 \pm 73,0	
F_{mit} [N]	st.	105,2 \pm 29,7	0,002	102,3 \pm 29,1	0,001	94,6 \pm 27,7	0,006
	schw.	102,3 \pm 29,8		99,0 \pm 28,8		91,9 \pm 26,8	
v_{max} [m/s]	st.	3,39 \pm 0,46	0,011	3,38 \pm 0,50	0,003	3,52 \pm 0,48	< 0,001
	schw.	3,32 \pm 0,44		3,32 \pm 0,48		3,43 \pm 0,44	
s [mm]	st.	1410,1 \pm 105,6	0,385	1411,7 \pm 123,4	0,194	1440,6 \pm 118,6	0,593
	schw.	1403,4 \pm 106,2		1400,9 \pm 121,9		1436,6 \pm 112,0	
t [ms]	st.	653,8 \pm 70,5	0,026	642,0 \pm 62,6	0,080	626,0 \pm 65,0	0,007
	schw.	665,1 \pm 61,4		650,9 \pm 60,1		641,3 \pm 69,9	

In der Tab. 23 sind die absoluten Differenzen der einzelnen Parameter für die Tests 2 bis 4 für alle Schwimmer ($n = 29$) dargestellt. Auffällig ist eine Konstanz der absoluten Differenzen über die drei Tests. Im Vergleich zw. den Tests 2 und 3, zw. 2 und 4 sowie zw. 3 und 4 konnten dementsprechend keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Die p-Werte der Signifikanztests sind der Tab. A 10 des Anhangs zu entnehmen.

Tab. 23: Absolute Differenzen der Ergebnisse der Tests 2 bis 4 ($n = 29$; Längsschnitt)

	Test 2*	Test 3*	Test 4*
ΔP_{mit} [W]	12,48 \pm 14,8	12,05 \pm 13,21	11,56 \pm 13,95
ΔF_{mit} [N]	2,93 \pm 4,52	3,32 \pm 4,66	2,73 \pm 4,98
Δv_{max} [m/s]	0,07 \pm 0,14	0,06 \pm 0,11	0,09 \pm 0,12
Δs [mm]	6,67 \pm 40,39	10,85 \pm 43,93	3,99 \pm 39,67
Δt [ms]	-11,36 \pm 25,99	-8,91 \pm 26,39	-15,29 \pm 28,25

* (Mw. \pm SD.)

Bei der Frage nach der leistungsfähigeren Seite zeigt sich im Längsschnitt insgesamt keine konstant bleibende Verteilung (siehe Tab. 24). Werden die Daten individuell betrachtet, zeigen bei den Freistilern 10 von 17 Schwimmer (6 links und 4 rechts) eine gleich bleibende leistungsstärkere Seite und bei den Schwimmern, die Schmetterling gezogen haben, 6 von 12 (3 links und 3 rechts) diese Konstanz.

Tab. 24: Die leistungsstärkere Seite der Schwimmer, differenziert nach der Lage (n = 29; Längsschnitt)

	Freistil		Schmetterling		gesamt	
	li.	re.	li.	re.	li.	re.
Test 2	7	10	6	6	13	16
Test 3	12	5	7	5	19	10
Test 4	11	6	5	7	16	13

Die 16 Schwimmer, bei denen die leistungsstärkere Seite konstant geblieben ist, weisen einen prozentualen Unterschied der Seiten bei der mittleren Leistung (P_{mit}) von 6,5 % und die 13 Schwimmer, bei denen die leistungsstärkere Seite sich verändert hat, einen prozentualen Unterschied von 3,6 % auf.

Die Tab. 25 beinhaltet die Ergebnisse der Schwimmer, die am AKZ Freistil (Kraul) gezogen haben (n = 17). Im Vergleich der beiden Seiten über die drei Tests zeigen sich signifikante Unterschiede in allen drei Tests in der mittleren Leistung (P_{mit}), der mittleren Kraft (F_{mit}) sowie in der Zugzeit (t). Bei der maximalen Zuggeschwindigkeit (v_{max}) ist im Test 2 ein tendenzieller und bei den Tests 3 und 4 jeweils ein signifikanter Unterschied zu finden.

Tab. 25: Ergebnisse der Tests 2, 3 und 4, Freistil (n = 17; Längsschnitt); st – stärkere, schw. – schwächere

	Seite	Test 2		Test 3		Test 4	
		Mw. ± SD.	p	Mw. ± SD.	p	Mw. ± SD.	p
P_{mit} [W]	st.	224,2 ± 75,4	0,002	228,9 ± 70,3	0,001	215,5 ± 70,0	0,003
	schw.	208,2 ± 67,4		214,0 ± 66,2		201,0 ± 66,0	
F_{mit} [N]	st.	99,4 ± 28,3	0,002	97,6 ± 28,5	0,016	89,1 ± 26,6	0,018
	schw.	95,6 ± 27,2		94,1 ± 27,8		85,4 ± 24,0	
v_{max} [m/s]	st.	3,45 ± 0,40	0,058	3,56 ± 0,36	0,007	3,65 ± 0,41	0,001
	schw.	3,37 ± 0,39		3,47 ± 0,31		3,53 ± 0,38	
s [mm]	st.	1423,4 ± 96,6	0,659	1443,2 ± 91,9	0,529	1457,4 ± 103,3	0,412
	schw.	1418,3 ± 103,1		1436,2 ± 78,7		1449,0 ± 100,9	
t [ms]	st.	643,8 ± 69,3	0,026	618,7 ± 50,1	0,010	610,9 ± 59,8	0,041
	schw.	660,4 ± 62,0		635,1 ± 43,2		625,6 ± 54,1	

Die Vergleiche der absoluten Differenzen der einzelnen Parameter zwischen den Tests 2 und 3, den Tests 2 und 4 sowie zwischen 3 und 4 ergeben keine signifikanten Unterschiede. Eine Übersicht über die absoluten Differenzen der einzelnen Parameter sowie über die p-Werte der Signifikanzprüfung ist im Anhang enthalten (Tab. A 11 und Tab. A 12).

Werden die beiden Seiten der Schwimmer, die Schmetterling am AKZ gezogen haben (n = 12), miteinander verglichen, zeigt nur der Parameter mittlere Leistung (P_{mit})

signifikante Unterschiede über die drei Tests (siehe Tab. 26). Der Unterschied der mittleren Kraft (F_{mit}) ist nur im Test 3 signifikant.

Tab. 26: Ergebnisse der Tests 2, 3 und 4, Schmetterling (n = 12; Längsschnitt); st – stärkere, schw. – schwächere

	Seite	Test 2		Test 3		Test 4	
		Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p
P_{mit} [W]	st.	246,4 \pm 96,9	0,002	230,5 \pm 93,3	0,001	231,0 \pm 83,6	0,005
	schw.	238,9 \pm 94,4		222,6 \pm 94,2		223,5 \pm 83,2	
F_{mit} [N]	st.	113,4 \pm 30,8	0,237	109,1 \pm 29,9	0,017	102,5 \pm 28,5	0,173
	schw.	111,8 \pm 31,9		105,9 \pm 30,1		101,1 \pm 28,9	
v_{max} [m/s]	st.	3,32 \pm 0,53	0,073	3,12 \pm 0,58	0,230	3,34 \pm 0,52	0,127
	schw.	3,26 \pm 0,51		3,10 \pm 0,59		3,29 \pm 0,49	
s [mm]	st.	1391,2 \pm 118,8	0,374	1367,2 \pm 151,0	0,222	1416,7 \pm 138,7	0,833
	schw.	1382,2 \pm 111,5		1351,0 \pm 155,5		1419,1 \pm 128,6	
t [ms]	st.	668,0 \pm 72,6	0,556	675,0 \pm 65,5	0,832	647,5 \pm 68,6	0,096
	schw.	671,8 \pm 62,5		673,2 \pm 74,4		663,6 \pm 85,2	

Die Vergleiche der absoluten Differenzen der einzelnen Parameter zwischen den Tests 2 und 3, 2 und 4 sowie zwischen 3 und 4 ergaben keine signifikanten Unterschiede. Die absoluten Differenzen der einzelnen Parameter sowie die p-Werte der Signifikanzprüfung sind der Tab. A 13 und Tab. A 14 des Anhangs zu entnehmen.

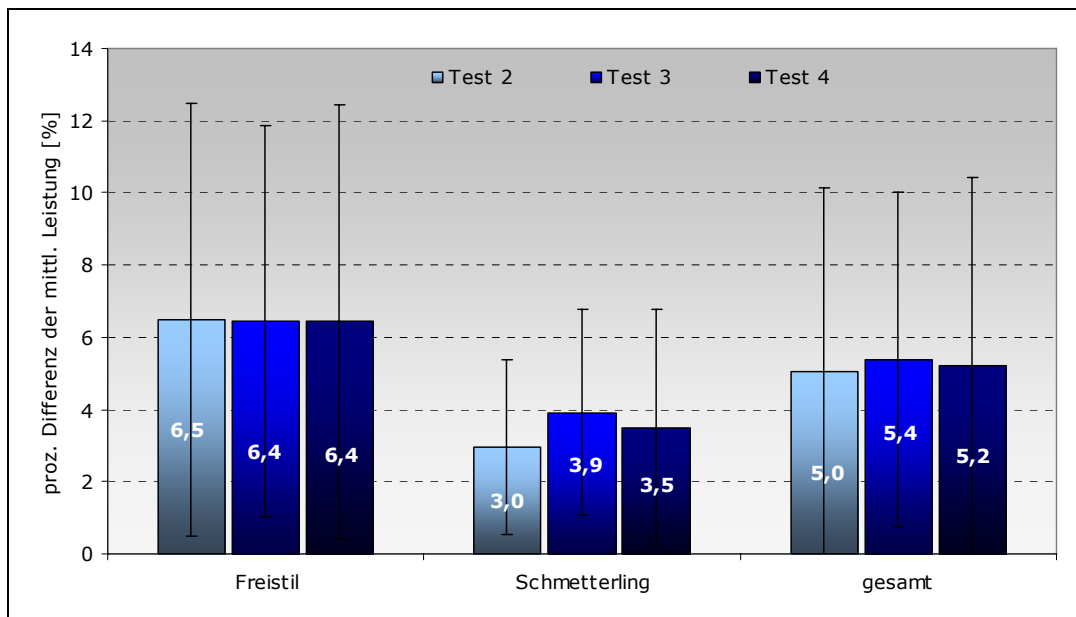


Abb. 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der proz. Differenzen der mittleren Leistung (P_{mit}) für Freistil (n = 17), Schmetterling (n = 12) und gesamt (n = 29) über 3 Tests (Längsschnitt)

Bei der Gegenüberstellung der prozentualen Differenz der mittleren Leistung (P_{mit}) zwischen Freistil und Schmetterling (siehe Abb. 21 sowie Tab. A 15 im Anhang) fällt auf, dass die Mittelwerte der prozentualen Differenzen bei den „Freistilern“ doppelt so groß sind wie bei den Schwimmern, die Schmetterling gezogen haben. Signifikante Unterschiede sind nicht nachzuweisen.

Eine Häufigkeitsverteilung der Schwimmer für die prozentuale Differenz der mittleren Leistung (P_{mit}) für die Tests 2 bis 4 zeigt die Tab. 27. Im Längsschnitt sind bei der Häufigkeitsverteilung keine großen Verschiebungen zwischen den Kategorien zu finden. Der Anteil der Schwimmer unter 5 % Seitendifferenz bleibt relativ konstant.

Tab. 27: Häufigkeitsverteilung der Schwimmer ($n = 29$) für die prozentuale Differenz der mittleren Leistung für die Tests 2 bis 4 (Längsschnitt)

Diff. P_{mit} [%]	Test 2		Test 3		Test 4	
	Häufigk.	[%]*	Häufigk.	[%]*	Häufigk.	[%]*
$0,0 < x \leq 5,0$	18	62,1	18	62,1	19	65,5
$5,0 < x \leq 10,0$	8	27,6	7	24,1	6	20,7
$10,0 < x \leq 15,0$	1	3,4	3	10,3	2	6,9
$15,0 < x \leq 20,0$	1	3,4	0	0,0	0	0,0
$20,0 < x \leq 25,0$	0	0,0	1	3,5	2	6,9
$25,0 < x \leq 30,0$	1	3,4	0	0,0	0	0,0

* (gerundete Werte)

Bei einigen wenigen Schwimmern fällt im Längsschnitt eine saisonale Veränderung der (prozentualen) Differenz der mittleren Leistung auf. Beim Test im Herbst findet sich eine größere (prozentuale) Differenz als beim Test im Frühjahr.

3.2.3 Zusammenfassung

Es wurden die Ergebnisse der KA-Tests von insgesamt 82 Schwimmern (43 männliche, 39 weibliche) im Querschnitt sowie von 29 Schwimmern (18 männliche, 11 weibliche) im Längsschnitt (über 3 Tests) untersucht.

Die gesamte Stichprobe ($n = 82$) zeigt in der Querschnittsuntersuchung bei allen Parametern statistisch signifikante Unterschiede zwischen der stärkeren und schwächeren Seite. Die absoluten Differenzen sind aber sehr gering. So beträgt beispielsweise die absolute Differenz der Zugzeiten 4,8 ms und die der Zugwege 9,7 mm.

Erst bei Einteilung der gesamten Stichprobe in Gruppen können bedeutende Unterschiede aufgezeigt werden. So kann z. B. bei einer Differenzierung nach der Zugart (Freistil vs. Schmetterling) eine Konstanz der Parameter Zugweg bei Freistil und Zugzeit bei Schmetterling nachgewiesen werden. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Unterschiede in der Freistilbewegung sich eher über die Zugdauer und die der Schmetterlingsbewegung eher über den Zugweg definieren. Des Weiteren sind die absoluten Differenzen zwischen der stärkeren und schwächeren Seite bei Freistil größer als die bei Schmetterling, was aber nur für die Zugzeit eine statistische Signifikanz ergibt. Ein weiterer auffälliger Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist die Häufigkeitsverteilung der prozentualen Differenz der mittleren Leistung. 44,2 % der Schwimmer aus der Gruppe „Freistil“ liegen oberhalb der prozentualen Differenz der mittleren Leistung (P_{mit}) von 5 %. Bei der Gruppe „Schmetterling“ sind es 35,9 %. Offen

bleibt hingegen, ob die größeren Differenzen zwischen der stärkeren und schwächeren Seite bei der Zugart Freistil im Vergleich zu Schmetterling durch die Zugart beim Test bedingt sind oder die Schwimmer durch das langjährige spezifische Training in ihren Hauptlagen generell solche Differenzen (auch in anderen Zugarten) aufweisen.

Bei einer Unterteilung nach dem Geschlecht sind zwar statistisch signifikante Unterschiede zu finden, die sich aber auf Grund der geschlechtsspezifischen Kraftfähigkeiten relativieren. Dies wird deutlich, wenn die prozentualen Differenzen der Parameter miteinander verglichen werden. Erwähnenswert ist nach einer weiteren Unterteilung der männlichen Gruppen nach der Zugart der tendenzielle Unterschied der absoluten Zugzeitdifferenzen zwischen den Gruppen „Freistil/männlich (Fm)“ und „Schmetterling/männlich (Sm)“ ($p = 0,077$).

Wird die gesamte Stichprobe hinsichtlich der Zugdauer ausgewertet, können signifikante Unterschiede beim Vergleich der absoluten Seitendifferenzen in der Zugzeit und in der mittleren Leistung nachgewiesen werden. Auch die prozentualen Differenzen zeigen Unterschiede (1 Minute: 5,2 % und 2 Minuten: 3,8 %). Bei einer weiteren Unterteilung der Gruppen über die Zugart weist die Gruppe 1F signifikant größere Differenzen in der Zugzeit auf als die Gruppen 2F und 1S.

Bei einer Unterteilung der gesamten Stichprobe nach Zugdauer, Zugstil und Geschlecht lassen sich auf Grund der geringen Probandenzahl pro Gruppe kaum noch signifikante Unterschiede in den absoluten sowie prozentualen Seitendifferenzen zwischen den Gruppen nachweisen. Nennenswert ist der signifikante Unterschied bei den absoluten Differenzen in der Zugzeit zwischen den Gruppen 1Fm und 1Sm.

Werden die Daten im Längsschnitt ($n = 29$) betrachtet, ausgewertet und analysiert, dann fällt eine Konstanz der absoluten aber auch der prozentualen Differenzen auf. Es sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Tests (Test 2 bis 4) bei allen Parametern als Gesamtgruppe und differenziert nach der Zugart (Freistil, Schmetterling) nachzuweisen. Auffällig sind beim Vergleich der beiden Gruppen (Schmetterling vs. Freistil) die absoluten sowie die prozentualen Differenzen der mittleren Leistung (P_{mit}). Hier zeigt die Gruppe „Freistil“ in allen drei Tests höhere absolute sowie höhere prozentuale Werte der mittleren Leistung (siehe Abb. 21 sowie Tab. A 11 und Tab. A 13 im Anhang), wobei die Unterschiede nicht signifikant sind.

Zusammenfassend können folgende Feststellungen aus den ausgewerteten Daten getroffen werden:

- Die links/rechts - Differenzen der mittleren Leistung (P_{mit}) gehen mit signifikant geringeren mittleren Kräften (F_{mit}) und geringeren maximalen Geschwindigkeiten (v_{max}) einher.
- Die Zugwege und die Zugzeiten zeigen eine höhere Konstanz, wobei die Gruppe „Freistil“ gleiche Zugwege und die Gruppe „Schmetterling“ gleiche Zugzeiten im Vergleich zwischen rechts und links aufweisen.
- Die Differenzen bei den Freistilern manifestieren sich eher über die Zugzeiten und die der Gruppe „Schmetterling“ eher über die Zugwege.
- Die Gruppe „Freistil“ zeigt höhere absolute sowie prozentuale links/rechts-Differenzen im Quer- sowie im Längsschnitt.
- Rund 40 % der Schwimmer liegen bei der mittleren Leistung (P_{mit}) oberhalb einer prozentualen Differenz von 5 %.
- Es ist im Längsschnitt ein geringer Anstieg der prozentualen Verteilung der Schwimmer, die eine Seitendifferenz von unter 5 % aufweisen, zu verzeichnen. Eine Korrelation zwischen der Testanzahl und der Differenz der mittleren Leistung ist nicht nachzuweisen (siehe Tab. A 16 im Anhang).
- Offen bleibt hingegen, ob die größeren Differenzen bei der Zugart Freistil im Vergleich zu Schmetterling durch die Zugart beim Test bedingt sind oder die Schwimmer durch das langjährige spezifische Training in ihren Hauptlagen generell solche Differenzen (auch in anderen Zugarten) aufweisen.

3.3 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der eigenen sowie der Untersuchungen vom IAT haben gezeigt, dass auch bei zyklischen Sportarten wie dem Schwimmen Seitenunterschiede zu finden sind. Diese Unterschiede zeigen sich einerseits bei Tests auf Seilzugergometern wie dem AKZ und andererseits beim Schwimmen im Wasser wie in einem Strömungskanal. Für den Leistungs- sowie Hochleistungssport stellen diese Unterschiede eine Leistungsreserve dar. Die Auswertungen der gemessenen Daten lassen die Annahme zu, dass zielgerichtete Trainingsmaßnahmen, die auf eine Verringerung der Differenzen gerichtet sind, die Lateralität reduzieren und eine aus der Differenz resultierende Ausgleichsbewegung minimieren könnten. Somit könnte eine Erhöhung der vortriebswirksamen Komponente der Antriebsbewegung bewirkt werden. Durch ein zielgerichtetes Training über mehrere Wochen müsste es möglich sein, Seitenunterschiede zu reduzieren und so die Leistung der schwächeren Seite der stärkeren anzunähern.

4 Fragestellungen

Die eigenen Untersuchungen, die Ergebnisse der IAT-Daten sowie die Resultate der veröffentlichten Studien zur Lateralität (im Sport) zeigen, dass nicht nur in azyklischen sondern auch in zyklischen Sportarten bei den Athleten Seitenunterschiede zu finden sind. Bei den azyklischen Sportarten sind diese vom Ausmaß und von der Charakteristik der Sportart und Disziplin abhängig wie es beispielsweise beim Kugelstoßen, Speerwurf und Hochsprung der Fall ist. Dagegen zeigen sich bei den zyklischen Sportarten wie dem Schwimmen (HERMSDORF & WOLFF 2002) und Kanu fahren (KRÜGER 2005) eher keine typischen Abhängigkeiten. Bei diesen Sportarten scheinen die Ausprägungen von Lateralitäten vielmehr individueller Natur zu sein. Wenn die Seitenunterschiede bei den Athleten von zyklischen Sportarten wie z. B. dem Schwimmen nicht durch die Sportart selbst manifestiert sondern individuelle Erscheinungen sind, ist es dann möglich, diese Seitenunterschiede im laufenden Training durch ein zusätzliches Krafttraining an Land zu verringern?

Für diese Arbeit sollen die folgenden Fragestellungen und die damit verbundenen Problemfelder näher untersucht werden:

1. Kann ein Krafttraining an einem Seilzugergometer mit der Einstellung einer höheren Belastung für die schwächere Seite einen Seitenunterschied verringern oder sogar beseitigen oder zeigt solch ein Training keine Wirkung?
2. Kann über ein spezielles Krafttraining (unterschiedliche Belastungen für die beiden oberen Extremitäten), welches zweimal die Woche mit 8 x 2 Minuten Zugzeit stattfindet, eine Verringerung der Seitenunterschiede erreicht werden oder ist der Trainingsumfang im Vergleich zum Trainingsumfang des normalen Trainings eines Leistungssportlers zu gering?
3. Lassen sich die innerzyklischen Unterschiede der Geschwindigkeitsmaxima beim Kraulschwimmen im Wasser beim Vergleich von Armzug rechts zu links auf Grund des speziellen Krafttrainings im Längsschnitt über einen Zeitraum von 8 Wochen und im Vergleich zu einer Kontrollgruppe verringern?

5 Stichprobe und Methoden

5.1 Probanden

An dem Trainingsexperiment nahmen insgesamt 22 männliche Leistungsschwimmer zweier Trainingsgruppen teil. Lateralitätsquotient, Alter, Körperhöhe und Körpermasse sowie Hauptlage, Kaderzugehörigkeit und Bestzeiten auf 100 m Kraul (Freistil) können der unten stehenden Tabelle (Tab. 28) entnommen werden. Die Form der Bestimmung der dominanten Seite sowie die Formel für die Berechnung des Lateralitätsquotienten ist im Kapitel 5.6.1 auf Seite 72 zu finden.

Tab. 28: Alter, Körperhöhe, -masse, Lateralitätsquotient (LQ), Kaderzugehörigkeit, Hauptlagen und 100 m Bestzeit in Kraul (Freistil) der Probanden

Pb.	Alter [Jahre]	Körperhöhe [cm]	Körpermasse [kg]	LQ	Kader	Hauptlage*	Kraul 100m [s]
01	22	187	79	80	B	R	53,1
02	18	181	79	60	D/C	B	52,8
03	18	190	70	100	D/C	B	55,6
04	19	181	72	100	D/C	B	54,3
05	19	183	84	80	A	S	50,9
06	17	184	83	80	-	R	55,4
07	17	188	67	60	C	K, L	53,2
08	18	177	71	82	D/C	S	56,2
09	17	181	65	100	C	K, B	54,6
10	18	194	85	80	C	K	53,0
11	16	179	68	60	C	R	56,1
12	19	188	80	60	-	B	55,0
13	19	194	77	100	-	K	51,5
14	24	187	84	80	B	R	53,1
15	18	179	75	60	-	R	54,2
16	23	174	74	80	B	B	53,8
17	23	179	72	100	B	S	52,2
18	24	199	99	80	A	S, L	52,0
19	18	180	70	60	C	K	51,6
20	17	202	96	80	-	K, R	53,0
21	16	205	92	82	-	K	56,1
22	17	175	72	80	D/C	S	54,8
Mw.	19,0 ± 2,5	185,8 ± 8,6	77,9 ± 9,3	-	-	-	53,8 ± 1,6

* (B – Brust, K – Kraul, R – Rücken, S – Schmetterling, L – Lagen)

5.2 Test- und Trainingsorte

Für das Trainingsexperiment wurden Tests in einem Strömungskanal (OSP Berlin) sowie im Krafttrainingsraum des Bundesstützpunktes „Schwimmen“ an den Armkraftzuggeräten absolviert. Das Training fand in einem Kraftraum an den Armkraftzuggeräten statt. Beide Testorte befinden sich an bzw. in der Schwimmhalle, in der die Schwimmer trainierten.

5.3 Test-, Mess- und Trainingsgeräte

Es wurden für das Trainingsexperiment ein Strömungskanal mit dem dort installierten Drei-Faden-System zur Messung für innerzyklische Schwankungen der Geschwindigkeiten, fünf Armkraftzuggeräte (AKZ) unterschiedlicher Bauart (3 Diagnose- und Trainingsgeräte sowie 2 reine Trainingsgeräte) für die Tests und das Training (siehe Abb. 23) sowie zwei verschiedene Videosysteme für die Videoaufnahmen verwendet. Des Weiteren wurden für eine Beurteilung der physiologischen (Aus-) Belastung Laktatanalysen durchgeführt. Im Folgenden werden diese Systeme näher beschrieben.

5.3.1 Strömungskanal

Der Strömungskanal des Olympiastützpunktes Berlin wird seit 1996 sowohl für die Rehabilitation von Sportlern unterschiedlicher Sportarten, als Trainingsmittel für Leistungsschwimmer sowie zur Diagnose von Schwimmtechniken und physiologischen Parametern von Leistungsschwimmern eingesetzt. In einer Gegenstromanlage hat der Schwimmer die Aufgabe, gegen die Strömung zu schwimmen, so dass er sich subjektiv aber auch objektiv auf der Stelle bewegt. Der Kanalabschnitt, in welchem sich der Schwimmer bewegen kann, wird Messstrecke genannt (siehe Abb. 22). Durch das ortsfeste Ausführen der Schwimmbewegungen ist es möglich, gerätegestützte Untersuchungen – wie z. B. dreidimensionale Bewegungsanalysen und Atemgasanalysen – durchzuführen.

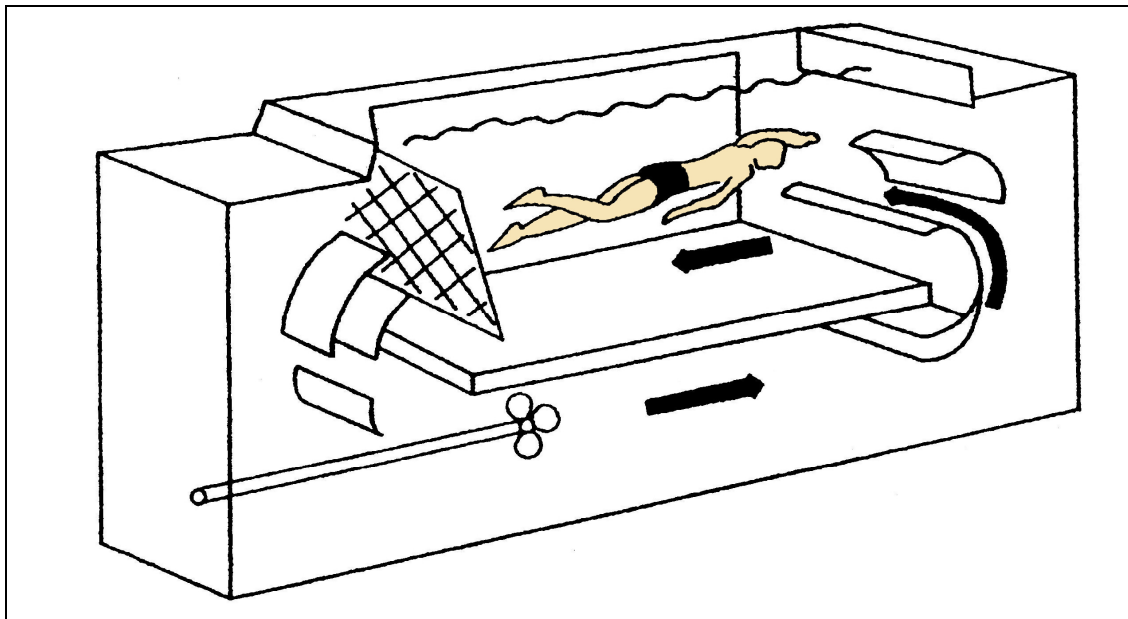


Abb. 22: Schematische Darstellung eines Strömungskanals (modifiziert nach UNGERECHTS 1992)

Die technischen Daten und die Leistungsparameter des Strömungskanals vom Olympiastützpunkt Berlin sind in der Tab. 29 aufgelistet.

Tab. 29: Leistungsparameter und Kenngrößen vom Strömungskanal des OSP-Berlin (o. V. 1996)

Leistungsparameter	Kenngrößen
Messstreckenlänge an der Wasseroberfläche	L = 4,425 m
Messstreckenbreite	B = 3,820 m
Messstreckentiefe	T = 1,210 m
Strömungsgeschwindigkeiten	u = 0 – 2,40 m/s
Einstellbare Geschwindigkeitsabstufungen	Δu = 0,01 m/s
Turbulenzgrad der Strömung in Abhängigkeit von u	Tu = 2 %
Nennleistung der Antriebsmaschinen	P = 3 x 30 kW
Leistung der Frequenzumrichter	P = 3 x 30 kW
Wasservolumen im Strömungskanal	V = 62 m ³
Wasserbeschaffenheit	nach DIN 19643
Wassertemperatur	T = 26,5 °C

Für diesen Kanal liegt die Fehlertoleranz nach dem Eichprotokoll vom Oktober 2005 bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,50 bis 1,80 m/s $< 0,41\%$ (bezogen auf 1,80 m/s), was einer Geschwindigkeitsabweichung von $\pm 0,00738$ m/s entspricht. Bei einer Geschwindigkeit von 1,80 bis 2,40 m/s ist die Toleranz $< 0,78\%$ (bezogen auf 2,20 m/s) was einer Geschwindigkeitsabweichung von $\pm 0,0195$ m/s entspricht.

Mit dem im Strömungskanal installierten Drei-Faden-System können die im Schwimmzyklus auftretenden Geschwindigkeitsänderungen gemessen werden. Dazu werden drei „Fäden“ an einer speziellen Badehose, die der Schwimmer trägt, befestigt. Das Drei-Faden-System ist auf einer Brücke über dem Strömungsbecken installiert. Es besteht aus drei Seilzuggebern, die im Dreieck mit einem Abstand von 2 m zueinander angeordnet sind. An jedem Seilzuggeber werden die Auszuglängen der Seile gemessen und die Daten analog an den Messrechner weitergegeben. Im Messrechner werden die drei analogen Werte zum einen über einen 10 Bit A/D-Wandler mit einer Samplingrate von 250 Hz digitalisiert und zum anderen synchron mit den Videodaten abgespeichert. Nach der Messung und Aufzeichnung werden die Rohdaten der Seilzuggeber weiterverarbeitet, indem die horizontalen und vertikalen Weg-, Zeit-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte aus den drei Werten der Seilzuggeber errechnet werden. Mittels der Software „DiVAS“ der Firma Datenhaus werden die errechneten Daten synchron zu den Videobildern dargestellt. Nach dem durchgeführten Export der errechneten horizontalen Geschwindigkeitswerte erfolgten abschließend die Bestimmungen der einzelnen Schwimmzyklen und die Zuordnung der Daten zu diesen.

5.3.2 Armkraftzuggerät (AKZ)

Das AKZ, ein Seilzugergometer, das vom Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) in Zusammenarbeit mit dem IAT entwickelt und gebaut wurde, ist

seit dem Olympiazzyklus 1996-2000 offizielles Diagnosegerät des Deutschen Schwimmverbandes. Die Sportler absolvierten im Rahmen einer Leistungsdiagnostik einen Maximalkraft- und Kraftausdauertest. Neben dem Einsatz als Diagnosegerät wird das AKZ auch als trainingsbegleitender Messplatz verwendet (siehe Abb. 23). Die folgenden Gerätespezifikationen für das Test-AKZ sind der „Dokumentation Hardware/Software“ des Armkraftzuggerätes, Version Schwimmen (WITT ET AL. 1997) entnommen.



Abb. 23: Armkraftzuggeräte im Kraftraum des Bundesstützpunktes Schwimmen in Berlin

Die Widerstandserzeugung am AKZ wird für den rechten und linken Arm unabhängig voneinander über elektrische Wirbelstrombremsen mit einer Erregerleistung von 48 W realisiert. Die Rückführung der Zugseile erfolgt mittels einer Rückholfeder. Die Zugkraft wird über zwei unabhängige Dehnmessstreifen (350 Ohm) und die Zuglänge über einen am Aufwickler befindlichen Inkrementalgeber (1 Impuls = 2 mm) gemessen. Bindeglied zwischen dem darstellenden PC und dem Ergometer sind der Steuerrechner und die Leistungselektronik. Die Grenze für die einzustellende Zugkraft liegt beim AKZ bei 700 N.

Für die Steuerung sowie für die Datenübernahme und -weitergabe sind im AKZ verschiedene elektronische Baugruppen integriert. Die Hauptbaugruppe bildet dabei der Mikrokontroller $\mu P80C535$. Dieser steuert die interruptgesteuerten Sensoreingänge (Wegimpuls, Herzfrequenz, Analogwerteingabe), die Pulsweitensteuerung für die Wirbelstrombremse sowie die Kommunikation zur V24 Datenschnittstelle.

Bei der Signalaufbereitung werden die von den Dehnmessstreifen erfassten Zugkräfte von einem Vorverstärker verstärkt, im nachfolgenden Filternormiervverstärker geglättet und anschließend mit einer 8 Bit A/D-Umwandlung digitalisiert. Die Abtastrate der

Digitalisierung beträgt 100 Hz. Der Seilweg wird mittels Inkrementalgeber an der Seilaufwicklung erfasst. Dabei entspricht ein Impuls einer Weglänge von 2 mm. Die Wege und die Zeiten werden in weitere Abschnitte unterteilt, wie in Abb. 24 dargestellt.

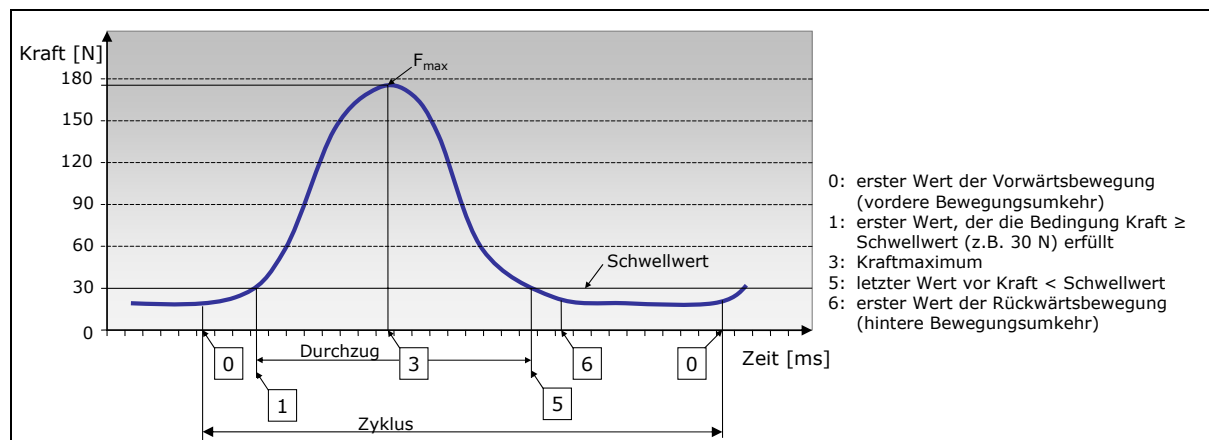


Abb. 24: Die Unterteilung eines Zuges in mehrere Abschnitte (modifiziert nach WITT ET AL. 1997)

Aus den gemessenen Daten werden die in der Tab. 30 stehenden Parameter berechnet. Die Rechenwerte beziehen sich auf einen Zyklus. Bis auf die Zugfrequenz gibt es immer einen linken und rechten Wert (z. B. s_l , s_r). Die Zeit zwischen zwei Abtastungen beträgt bei einer Messfrequenz von 100 Hz $\Delta t = 10$ ms, der Weg dazwischen $\Delta s[i]$. Der Kraftwert zur Zeit der Abtastung ist $F[i]$ (WITT ET AL. 1997).

Tab. 30: Definition der Berechnungen für die einzelnen Parameter (aus WITT ET AL. 1997)

Bezeichnung	Erläuterung	Berechnungsformel	Einheit
SF	Zug- bzw. Schlagfrequenz	$\frac{60000}{t0[zyk + 1] - t0[zyk]}$	$1 \cdot \text{min}^{-1}$
s1	Weg von Ereignis 0 ($s=0$) bis Ereignis 1	$\sum_{i=0}^1 \Delta s[i]$	mm
s2 ... s6	siehe s1	siehe s1	mm
t1	Zeit zwischen Ereignis 0 und 1	$\sum_{i=0}^1 \Delta t$	ms
t2 ... t6	siehe t1	siehe t1	ms
F_{mit}	mittlere Kraft	$(\sum_{i=1}^{i5} F[i]) / (i5 - i1 + 1)$	N
W	Arbeit im Durchzug	$\sum_{i=1}^{i5} (F[i] * \Delta s[i]) / 1000$	Nm
P_{mit}	mittlere Leistung	$W[zyk] * 1000 / (t5 - t1)$	W
F_{max}	Kraftmaximum	$Max(F[i])$	N
P_{max}	Leistungsmaximum	$Max(F[i] * \Delta s[i]) / \Delta t$	W
v_{max}	Geschwindigkeitsmaximum	$Max(\Delta s[i]) / \Delta t$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Am AKZ kann der Bremswiderstand innerhalb eines Zuges über den Steuerrechner verändert werden. Über eine Run-Time der Software „LabView 5.1“ (National Instruments) wird ein Zug in fünf Abschnitte eingeteilt. In jedem Abschnitt kann ein

separater Widerstandswert eingestellt werden. Eine maximal einzustellende Bremslast von 100 (%) stellt die Grenze von 71,4 kg dar (entspricht einer Zugkraft von 700 N).

Für das Training standen insgesamt 5 Armkraftzuggeräte zur Verfügung, wie es in der Abb. 23 auf Seite 64 zu sehen ist. Die Armkraftzuggeräte stammen aus drei unterschiedlichen Baureihen. Das Trainings- und Testgerät der ältesten Baureihe ist bereits weiter oben näher beschrieben. Die zweite Baureihe, auf der die Gruppe mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die linke und rechte Seite trainierte, ist eine Weiterentwicklung. Bei dieser ist es möglich, getrennte Einstellungen der Bremslast für die beiden Seiten zu definieren. Es standen für die Trainingsexperimente insgesamt zwei dieser Geräte zur Verfügung. Die Unterschiede zur ersten Generation sind:

- die Abtastfrequenz, die 400 Hz beträgt,
- die A/D-Umwandlung, die über einen 12 Bit A/D-Umwandlung realisiert wird und
- die Mess- und Steuerungssoftware, die komplett neu mit LabView 6.1 (National Instruments) programmiert wurde.

Über die neue Mess- und Steuerungssoftware können auch die unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten vorgenommen werden. Für die Trainingsexperimente standen die Geräte vom OSP Berlin und der Universität Potsdam zur Verfügung. Die letzten beiden Geräte (3. Baureihe) sind reine Trainingsversionen. Diese werden nicht über einen Computer, sondern über ein kleines Handgerät mit einer LCD-Anzeige angesteuert (siehe Abb. 25). Diese zeigen während und am Ende eines Zugtrainings die erreichten Kraft-, Arbeits- oder Leistungswerte an. Es sind insgesamt 10 Trainingsprogramme mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen in der Handsteuerung festgelegt. Des Weiteren ist nur eine Wirbelstrombremse zur Bremslasterzeugung eingebaut.



Abb. 25: Handsteuerung der Trainingsversion vom AKZ

5.3.3 Videosysteme

Für die Videoaufnahmen am AKZ wurde ein digitaler Camcorder von Sony mit einer Bildrate von 50 Hz verwendet. Um visuelle Auswertungen und Bewegungsanalysen durchführen zu können, wurden die Videodaten über eine IEEE 1394 Schnittstelle (auch i.LINK™ oder FireWire) digital auf einen PC übertragen. Im Kanal wurde das dort installierte Videosystem verwendet (Bildrate 50 Hz). Die Übertragung der Videodaten auf einen PC wurde hier über eine Digitalisierungskarte „AV-Master“ realisiert. Die Speicherung erfolgte synchron zu den Messwerten vom Drei-Faden-System auf dem zugehörigen Messrechner.

5.3.4 Laktatanalyse

Für eine Laktatanalyse wurde aus einem Ohrläppchen Blut entnommen. Dazu wurde das Ohrläppchen vorher desinfiziert und mit einer sterilen Einweglanzette punktiert. Das unter leichtem Druck am Ohrläppchen hervortretende Blut wurde in einem 20 µl Kapillarröhrchen aufgenommen. Dieses wurde in ein 1,5 ml Probegefäß, das mit 1 ml Glukose-Pufferlösung gefüllt ist, gegeben. Die Analyse erfolgte mit dem Gerät ECA PD10 (Medingen GmbH, Firmen Gruppe Preiss-Daimler, Dresden), das nach dem enzymatisch-amperometrischen Messprinzip arbeitet. Dabei wird Laktat an einer Membran durch das Enzym Laktatoxidase zu Pyruvat oxidiert und die dadurch freigesetzten Ladungsträger werden als Messsignal registriert. Der Messfehler bei diesem Gerät beträgt $\leq 2\%$ bei 10 mmol/l Laktat.

5.4 Untersuchungsdesign

Das Trainingsexperiment wurde mit zwei verschiedenen Trainingsgruppen zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt. Pro Trainingsgruppe wurden zwei randomisierte Gruppen gebildet. Die erste Gruppe (Testgruppe – TG) trainierte mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die linke und rechte Seite und die zweite Gruppe (Kontrollgruppe – KG) mit gleichen Belastungseinstellungen am AKZ. Da nur zwei Armkraftzuggeräte zur Verfügung standen, bei denen unterschiedliche Belastungseinstellungen für die linke und rechte Seite vorgenommen werden konnten, war die Größe der TG auf 4 Schwimmer beschränkt. Nur mit 2 Leistungsschwimmern pro Gerät konnte ein Training in alternierender Reihenfolge mit relativ kurzen Pausen absolviert werden.

Es fand ein Eingangstest für alle Probanden statt. In den folgenden 8 Wochen wurde während des Landtrainings zweimal in der Woche ein Training am AKZ absolviert. In der fünften Woche erfolgte ein Zwischentest und nach der 8. Woche der Endtest. Um zu

überprüfen, ob der Zustand nach dem Trainingsexperiment gehalten werden konnte, fand nach weiteren 4 Wochen ein Nachtest statt.

Die Eingangs-, Zwischen-, End- und Nachtests enthielten zwei Messungen. Die erste Messung fand im Strömungskanal statt. Dort wurden die intrazyklischen Geschwindigkeitsschwankungen über das Drei-Faden-System aufgezeichnet. Die Geschwindigkeit der Strömung entspricht der Durchschnittsgeschwindigkeit über 100 m Kraul der individuellen Bestzeit. Die Probanden mussten mit einem Schnorchel und einem Pullbuoy schwimmen. Unter dem Einsatz eines Schnorchels werden die Drehbewegungen um die Körperlängsachse, die durch die Atembewegung zustande kommen, gering gehalten. So wurden gleiche Bedingungen für den rechten und linken Durchzug im Wasser gewährleistet. Mit Hilfe eines Pullbuoys kann der unterschiedlich starke Einsatz der Beine zur Vortriebserzeugung bei den Probanden so gut wie ausgeschlossen werden, da der Vortrieb (fast) ausschließlich aus den Armen erfolgt. Durch das Schwimmen mit dem Schnorchel und dem Pullbuoy konnten somit für alle Probanden (nahezu) die gleichen Bedingungen geschaffen werden – Vortriebserzeugung ausschließlich durch die oberen Extremitäten, ohne Einfluss einer Atembewegung zur Seite.

Die zweite Messung fand nach einer Pause von ca. 30 Minuten am AKZ statt. Dort wurde ein Standard-Kraftausdauertest nach einer Vorgabe vom DSV/IAT absolviert. Die Bremslasteinstellungen sind der folgenden Tabelle (Tab. 31) zu entnehmen.

Tab. 31: Bremslasteinstellung am AKZ für die Tests

	Zugphase					Freilauf
	1.	2.	3.	4.	5.	
Zugweg [%]	0 - 20	20 - 50	50 - 60	60 - 80	80 - 100	
Bremslast [%]*	25	30	40	40	40	100

* (die Prozentwerte beziehen sich auf die max. einzustellende Kraft von 700 N)

Bei beiden Messungen (Kanal und AKZ) wurden für alle Tests die Probanden auf Video aufgenommen, damit überprüft werden konnte, ob sich die Bewegungsausführungen im Laufe der 8 Wochen änderten bzw. ob diese korrekt ausgeführt wurden.

5.5 Das Schwimmtraining sowie das zusätzliche Zugtraining

Nach dem Eingangstest absolvierten alle Probanden in den folgenden 8 Wochen während des Landtrainings zweimal in der Woche ein Training am AKZ. In den ersten vier Wochen zogen die Probanden zweimal 8 x 2 Minuten und von der 5. bis zur 9. Wochen zweimal 8 x 1 Minute mit Pausen von 2,5 – 3,0 Minuten. Die Veränderung der Zugzeit ab der 5. Woche resultierte aus den Trainingsplänen der Trainingsgruppen, die mit dem Trainern für das Trainingsexperiment im Vorfeld abgestimmt bzw. angepasst wurde.

Für das 8wöchige Training wurden die Belastungseinstellungen an den Armkraftzuggeräten nach dem Eingangstest individuell an das Leistungsvermögen der einzelnen Schwimmer angepasst, so dass keine Über- oder Unterforderung entstand. Ab der 5. Woche erfolgte eine geringe Erhöhung der Belastungseinstellungen für alle Probanden auf Grund der kürzeren Belastungszeiten (ab der 5. Woche 8 x 1 Minute).

Für die insgesamt 8 Probanden der Testgruppe wurden auf der schwächeren Seite 5 % höhere Belastungswerte für das Zugtraining eingestellt. Die Probanden der Kontrollgruppe trainierten mit den gleichen Einstellungen für beide Seiten. In Tab. 32 ist als Beispiel die Einstellung des Schwimmers Pb. 01, welcher der Testgruppe angehörte und mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen trainierte, zu finden.

Tab. 32: Bremslasteinstellung am AKZ für das Zugtraining des Schwimmers Pb. 01

	Zugphase					Freilauf- bremslast
	1.	2.	3.	4.	5.	
Zugweg [%]	0 - 10	10 - 25	25 - 40	40 - 70	70 - 100	
links [%]*	20	30	40	45	55	55
rechts [%]*	15	25	35	40	50	50

* (die Prozentwerte beziehen sich auf die max. einzustellende Kraft von 700 N)

Das zusätzliche Zugtraining wurde in den normalen Trainingsbetrieb integriert. Deshalb soll an dieser Stelle auf das Gesamttraining der Probanden, beispielhaft für die Trainingsgruppe II, eingegangen werden. Das Training der ersten Trainingsgruppe ist mit dem der zweiten vergleichbar.

In den folgenden Abbildungen sind die Trainingsdaten und -inhalte der zweiten Trainingsgruppe ausführlich dargestellt. Die zeitlichen Trainingsumfänge pro Woche vom Land- und Wassertraining der Trainingsgruppe über die Phase des Trainingsexperimentes können der Abb. 26 entnommen werden.

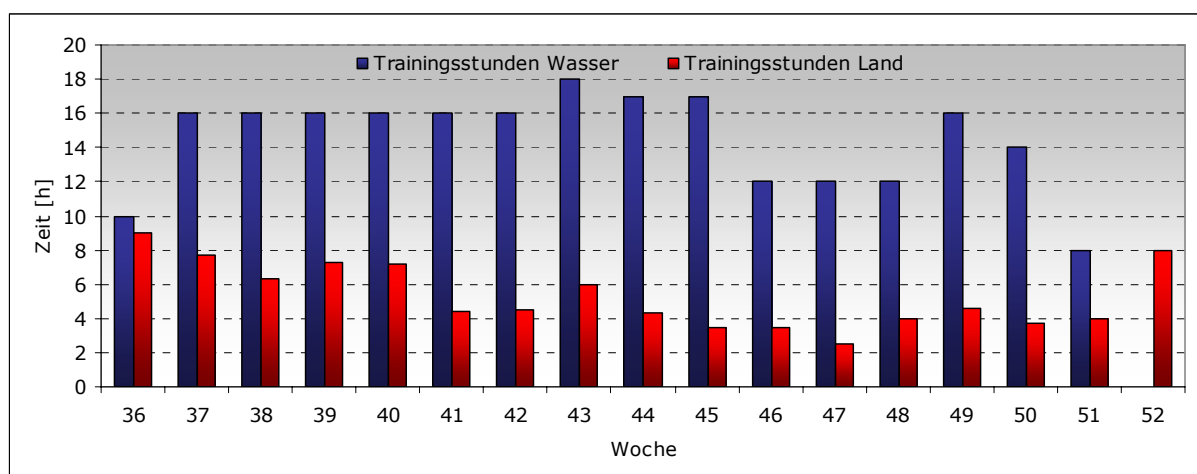


Abb. 26: Graphische Übersicht über die zeitlichen Umfänge vom Land- und Wassertraining der zweiten Trainingsgruppe

In der 38. Woche fand der Eingangstest statt. Das spezifische Training begann in der darauf folgenden Woche. Die Trainingsumfänge (Zeiten und Strecken) sind Vorgaben vom Trainer, welche aus der Mehrjahres-, Jahres- sowie Wettkampfplanung resultieren.

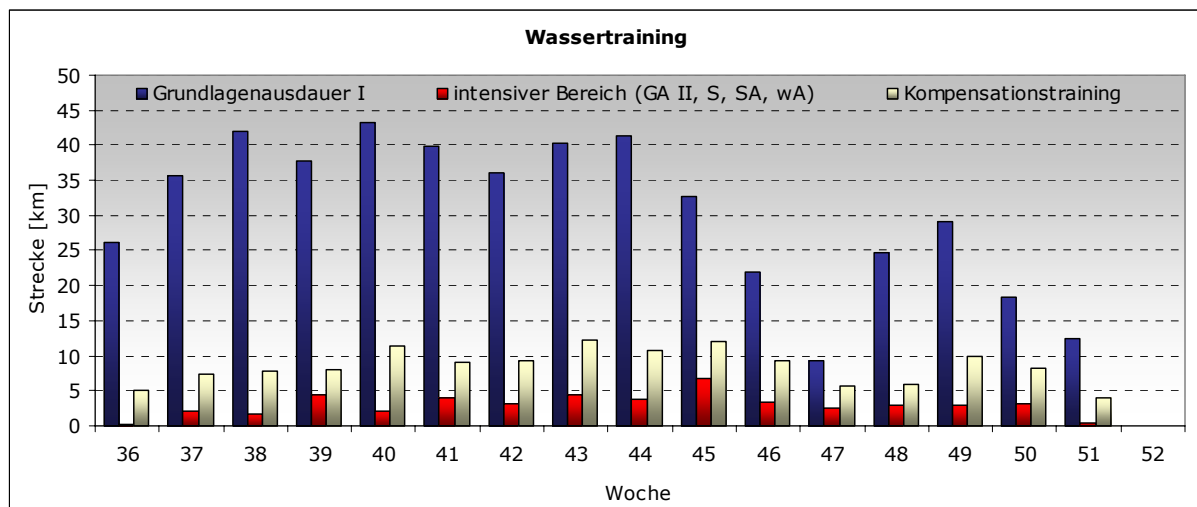


Abb. 27: Graphische Übersicht über die Zusammensetzung des Wassertrainings der zweiten Trainingsgruppe

Das Training am Armkraftzuggerät ist ein spezifisches Krafttraining, welches an Land durchgeführt wird und dementsprechend auch dort einzuordnen ist. Ein spezifisches Krafttraining war schon vor dem Trainingsexperiment Bestandteil des Trainingsplanes dieser Trainingsgruppe, allerdings nicht an einem Armkraftzuggerät. Für das Trainingsexperiment sollten die Schwimmer am AKZ trainieren, wobei nur die 8 Probanden der Testgruppe mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die rechte und linke Seite zogen. Die Probanden der Kontrollgruppe absolvierten das Training mit gleichen Einstellungen für die beiden Seiten.

Über den Zeitraum des Trainingsexperimentes wurden die in Abb. 27 dargestellten Strecken pro Woche im Wasser zurückgelegt. In der 46. Woche fanden die Berliner Kurzbahn-Meisterschaften sowie ein Weltcup (in Südkorea) statt. Beim letzteren nahm aus dieser Trainingsgruppe ein Schwimmer (Pb. 18) teil. In der darauf folgenden Woche starteten fast alle Schwimmer bei den Deutschen Kurzbahnmeisterschaften. Aus diesen Gründen sind auch die Trainingsumfänge für das Wasser- sowie für das Landtraining in den beiden Wochen geringer.

In der folgenden Abbildung (Abb. 28) ist die Zusammensetzung des Landtrainings der Trainingsgruppe über den Zeitraum des Trainingsexperimentes graphisch dargestellt. Es beinhaltet das Training der allgemeinen und der spezifischen Kraft, die Lockerung und die Dehnung von Muskeln und Muskelgruppen sowie ein spezifisches Training für die Bauch-

5.6 Datenerhebungen und Messparameter

Im Folgenden werden die Erhebungen von Daten über zwei unterschiedliche Fragebögen sowie die Messungen einzelner Parameter für die Messsysteme Strömungskanal, Armkraftzuggerät und Laktat beschrieben.

5.6.1 Fragebögen

Vor dem 1. Test wurden mittels eines Fragebogens die folgenden Daten erhoben:

- Name und Vorname,
- Geschlecht,
- Geburtsdatum,
- Körperhöhe und -masse,
- körperliche Beschwerden, wenn ja welche,
- Kaderzugehörigkeit,
- Hauptlage(n) sowie
- Hauptstreckenlängen mit Bestzeiten für die Langbahn (50 m).

Der zweite Fragebogen, den der Testleiter in einem individuellen Interview ausfüllte, soll die Händigkeit der Leistungsschwimmer ermitteln. Dazu mussten die einzelnen Tätigkeiten – wie Schreiben, Zeichnen, einen Ball werfen, mit einer Schere schneiden, sich die Zähne putzen, mit dem Messer Brot abschneiden, mit dem Löffel essen, mit dem Besen fegen, ein Streichholz anzünden und den Deckel von einer Dose schrauben – gestisch von den Probanden dargestellt werden. Im Anschluss erfolgte die Berechnung des Lateralisierungsquotienten (LQ) anhand der Summe von Ankreuzungen für die linke bzw. rechte Hand über die Formel:

$$LQ = \frac{(R - L)}{(R + L)} \times 100$$

Der LQ kann Werte von -100 bis 100 annehmen. Ein LQ von -100 bedeutet eine extreme Linkshändigkeit und eine LQ von 100 eine extreme Rechtshändigkeit. Ein Wert von 0 zeigt eine Beidhändigkeit an. Die beiden Fragebögen sind im Anhang zu finden.

5.6.2 Strömungskanal

Im Strömungskanal wurden über das Drei-Faden-System Weg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte ermittelt sowie synchron die Schwimmbewegungen von vorn-oben und von der Seite als digitales Video mit einem Rechner digital aufgezeichnet.

5.6.3 Armkraftzuggerät

Am AKZ wurden die Zugwege, die Zugzeiten sowie die produzierten Kräfte für die linke und rechte Seite gemessen. Aus den gemessenen Daten wurden die in der Tab. 34 stehenden Parameter berechnet. Die Rechenwerte beziehen sich auf einen Zyklus. Bis auf die Zugfrequenz gibt es immer einen linken und rechten Wert. Die Einteilung der Zeit, des Weges und der Kraft sind in der Abb. 24 auf Seite 65 dargestellt.

Tab. 34: Messparameter und Parameter, die errechnet werden, für das AKZ

Bezeichnung	Erläuterung	Berechnungsformel	Einheit
SF	Zug- bzw. Schlagfrequenz	$\frac{60000}{t0[zyk + 1] - t0[zyk]}$	$1 \cdot \text{min}^{-1}$
s	Zugweg (von Ereignis 0 bis 5)	$\sum_{i=1}^{i5} \Delta s[i]$ oder s5	mm
t	Zugzeit (von Ereignis 0 bis 5)	$\sum_{i=1}^{i5} \Delta t$ oder t5	ms
v_{max}	Geschwindigkeitsmaximum	$\text{Max}(\Delta s[i]) / \Delta t$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
F_{max}	maximale Kraft	$\text{Max}(F[i])$	N
F_{mit}	mittlere Kraft	$(\sum_{i=1}^{i5} F[i]) / (i5 - i1 + 1)$	N
P_{mit}	mittlere Leistung	$W[zyk] * 1000 / (t5 - t1)$	W

5.6.4 Laktat

Bei den 4 Tests pro Trainingsexperiment am Armkraftzuggerät wurde vor und nach den Tests aus dem Ohrläppchen Blut für eine Laktatanalyse abgenommen. Pro Proband und je Test wurden 3 Abnahmen durchgeführt: eine für die Bestimmung des Ruhelaktats vor jedem Test, eine direkt und eine 3 Minuten nach der Belastung. Die Laktatkonzentration wird in mmol/l angegeben.

5.7 Datenverarbeitung und Auswertung

Über die deskriptive Statistik erfolgte die Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minima und Maxima sowie von Häufigkeiten. Vor einer statistischen Überprüfung auf Signifikanz von Unterschieden wurden die Messwerte auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Für die Prüfung der Signifikanz der Mittelwertunterschiede ($p < 0,05$) für die Zug- bzw. Schlagfrequenzen, Zugzeit, -weg, mittlere Kraft, (maximalen) Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Arbeit und mittlere Leistung wurden der t-Test für gepaarte sowie für unabhängige Stichproben (je nach Gruppeneinteilung) verwendet.

Des Weiteren wurden einige Werte auf Korrelationen hin überprüft. Dafür wurden die Korrelationskoeffizienten (r) sowie die Bestimmtheitsmaße (r^2) ermittelt. Die Einstufung des Korrelationskoeffizienten ist der Tab. 35 zu entnehmen.

Tab. 35: Einstufung des Korrelationskoeffizienten (ZÖFEL 2002)

Korrelationskoeffizient	Einstufung
$ r \leq 0,2$	sehr geringe Korrelation
$0,2 < r \leq 0,5$	geringe Korrelation
$0,5 < r \leq 0,7$	mittlere Korrelation
$0,7 < r \leq 0,9$	hohe Korrelation
$0,9 < r \leq 1,0$	sehr hohe Korrelation

Für die Bestimmung einer Veränderung der Differenzen zwischen den beiden Seiten über die Zeit des Kraftausdauerfestes wurde über die Regressionsanalyse eine Regressionsgerade mit der dazugehörigen Regressionsgleichung der Form $y = bx + a$ bestimmt und die Konstante „b“ (auch Richtungskonstante, Steigung oder Regressionskoeffizient bezeichnet) ermittelt (siehe Abb. 29).

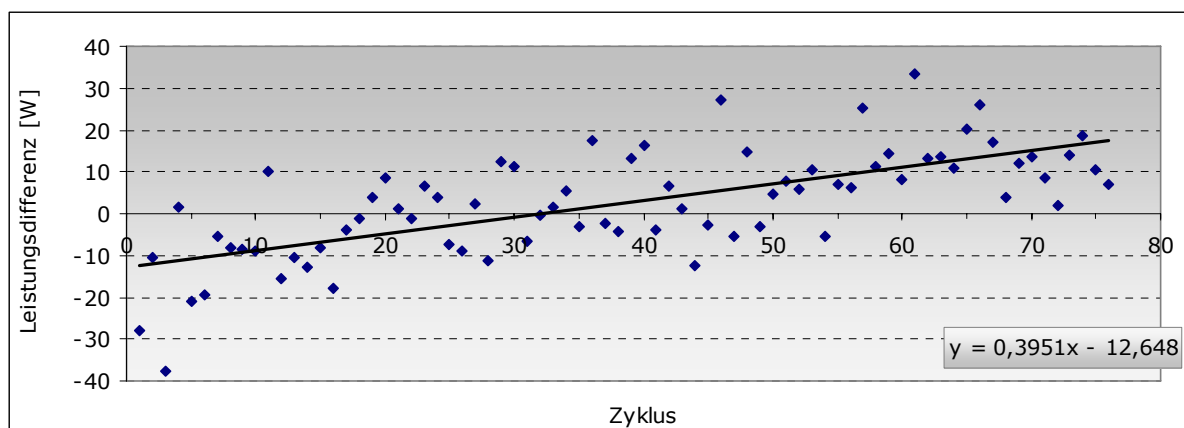


Abb. 29: Absolute Differenzen (re. - li.) der Leistung im zeitlichen Verlauf eines KA-Tests mit Regressionsgeraden und -gleichung

Für die Berechnungen, die statistischen Überprüfungen sowie für die Darstellung von Ergebnissen wurden die Programme „Statistica 6.1“ der Firma StatSoft, Inc. und „Excel“ (Office 2003) von Microsoft® verwendet.

6 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von zwei Trainingsgruppen vorgestellt. Die erste Trainingsgruppe umfasste insgesamt 13 männliche Leistungsschwimmer, wobei die Daten von 9 Teilnehmern ausgewertet werden konnten. In der zweiten Trainingsgruppe waren die Daten von 8 (von insgesamt 9) männlichen Leistungsschwimmern verwendbar. Insgesamt 5 Leistungsschwimmer mussten bei der Datenauswertung ausgeschlossen werden, da sie in der Zeit des Trainingsexperimentes durch Krankheit zeitweilig nicht am Training teilnehmen konnten. In der Zeit des Trainingsexperimentes wurden die Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt: 8 Leistungsschwimmer waren in der Testgruppe, alle anderen in der Kontrollgruppe. Im ersten Teil dieses Kapitels werden die Ergebnisse eines Schwimmers (Pb. 01) dargestellt, bei dem es zu einer eindeutigen Verringerung von Seitenunterschieden im Verlaufe des Trainingsexperimentes gekommen ist. Er gehörte im Trainingsexperiment der Testgruppe an und trainierte mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen am AKZ. Im zweiten Teil dieses Kapitels werden die Ergebnisse und Auswertungen der Daten aller Probanden einzeln dargestellt. Des Weiteren werden die Befunde der Probanden aus der Testgruppe mit denen der Kontrollgruppe verglichen. Im letzten Teil erfolgt eine Darstellung und Auswertung der Trainingsdaten eines Schwimmers (Pb. 18), der auf Grund seiner Lagenspezifik neben Kraul auch Schmetterling am AKZ trainiert hat.

6.1 Ergebnisse des Schwimmers Pb. 01

Der Leistungsschwimmer Pb. 01 war zum Testzeitpunkt 22 Jahre alt und gehörte dem B-Kader an. Seine Hauptlage war Rücken – eine alternierende, zyklische Schwimmbewegung. Die Bestzeiten des Schwimmers sind der Tab. 36 zu entnehmen.

Tab. 36: Bestzeiten vom Schwimmer Pb. 01 (50 m-Bahn)

Strecke [m]	Delphin [min:s]	Rücken [min:s]	Brust [min:s]	Kraul [min:s]	Lagen [min:s]
50	0:25,19	0:26,49	0:31,38	0:23,76	-
100	0:55,83	0:55,76	-	0:53,10	0:56,62*
200	-	2:00,56	-	2:09,70	2:16,28

* Kurzbahn (25 m-Bahn)

6.1.1 Strömungskanal

Im Strömungskanal zeigte der Schwimmer beim Kraulschwimmen im Geschwindigkeitsverlauf des Hüftpunktes einen nahezu übereinstimmenden Verlauf für die beiden Seiten. Beim Vergleich der intrazyklischen Geschwindigkeit des Hüftpunktes, während der linke Arm durch das Wasser zieht, mit der Geschwindigkeit, während der rechte Arm durch das Wasser zieht, sind kaum Unterschiede in der

Geschwindigkeitsgestaltung innerhalb eines Zyklus zu finden (siehe Abb. 30). Anzumerken ist, dass die Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$, mit welcher der Schwimmer die Untersuchung durchführte, in Absprache mit dem Trainer unter Berücksichtigung des Trainings- und Wettkampfkonzepthes dieses Sportlers erfolgte. In Folge dessen entsprach die Strömungsgeschwindigkeit nicht der persönlichen Bestleistung des Schwimmers auf 100 m, die bei der berechneten Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,9 \text{ m/s}$ gelegen hätte.

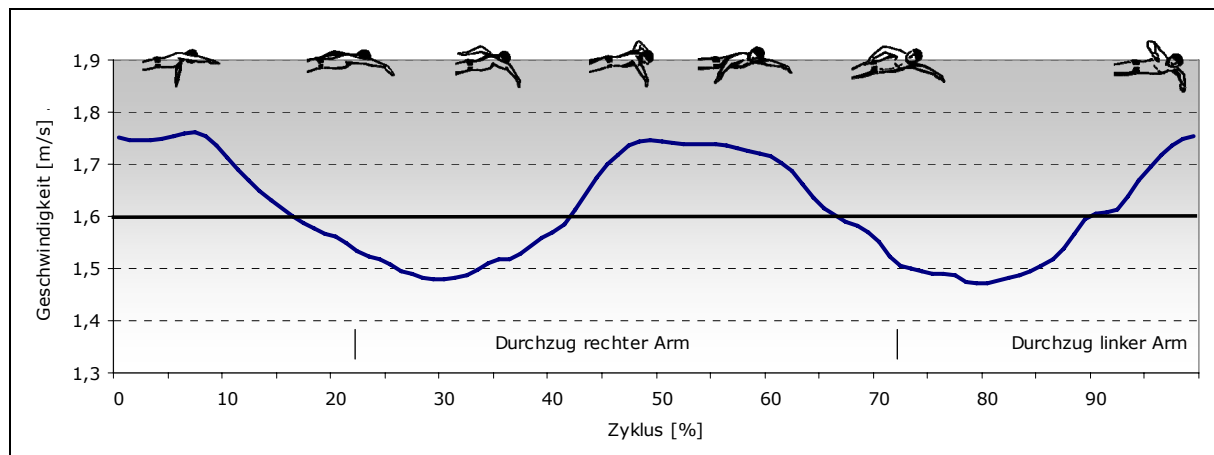


Abb. 30: Gemittelte Geschwindigkeitskurve des Hüftpunktes (13 Zyklen) vom Schwimmer Pb. 01 bei einer Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$, 1. Test

Die weiteren Untersuchungen (Test 2 bis 4) der innerzyklischen Geschwindigkeit des Hüftpunktes beim Schwimmen im Strömungskanal bei einer Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$ ergaben keine Veränderung zum Eingangstest. Die Geschwindigkeitskurven zeigen einen identischen Verlauf.

6.1.2 Armkraftzuggerät

Im Eingangstest (1. Test) erreichte der Schwimmer Pb. 01 die in Tab. 37 stehenden Werte für die mittlere Leistung (P_{mit}), mittlere (F_{mit}) und maximale Kraft (F_{max}), den Zugweg (s) und die Zugzeit (t) bei einer Zugfrequenz von $43,6 \pm 1,7 \text{ min}^{-1}$. Sein Laktat betrug vor dem Test $1,5 \text{ mmol/l}$, direkt nach dem 2minütigen KA-Test $5,8 \text{ mmol/l}$ und 3 Minuten nach der Belastung $6,9 \text{ mmol/l}$.

Tab. 37: Mittelwert und Standardabweichung der mittleren Leistung, mittleren Kraft, max. Kraft, des Zugweges und der Zugzeit des Schwimmers Pb. 01 für die 1. Messung

	links	rechts	abs. Diff.	proz. Diff. [%]
mittlere Leistung [W]	$167,0 \pm 20,8$	$189,4 \pm 22,0$	22,4	11,8
mittlere Kraft [N]	$81,2 \pm 5,4$	$88,7 \pm 5,3$	7,5	8,5
max. Kraft [N]	$102,0 \pm 6,9$	$112,9 \pm 7,8$	10,9	9,7
Zugweg [mm]	$1465,1 \pm 43,3$	$1497,0 \pm 30,6$	31,9	2,1
Zugzeit [ms]	$766,4 \pm 29,6$	$767,9 \pm 30,7$	1,5	0,2

Der Schwimmer Pb. 01 zeigt auf der rechten Seite höhere Kraft- und Leistungswerte. Die absolute Differenz der mittleren Leistung beträgt 22,4 W (prozentuale Differenz 11,8 %) und für die mittlere Kraft 7,5 N (prozentuale Differenz 8,5 %). Die Zugwege und Zugzeiten unterscheiden sich marginal (siehe Tab. 37). Der in Abb. 31 zu sehende Verlauf der Leistung über den gesamten Kraftausdauererprobungs-Test zeigt einen stetigen Abfall bis zum Ende des Tests sowie einen relativ konstant bleibenden Unterschied zwischen der linken und rechten Seite. Letzteres wird auch durch die Trendlinie in Abb. 32 sowie durch den Regressionskoeffizienten ($b = -0,089$) verdeutlicht. Die Werte in Abb. 31 sowie in Abb. 32 zeigen, dass dieser Schwimmer über den gesamten Kraftausdauererprobungs-Test mit der rechten Seite höhere Leistungen erzielte.

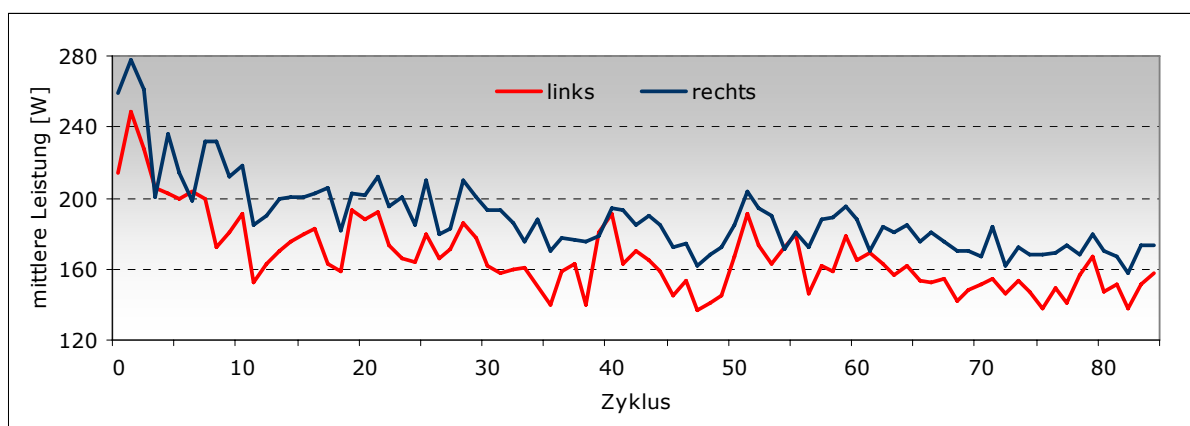


Abb. 31: Verlauf der mittleren Leistung vom Schwimmer Pb. 01 im 1. Test

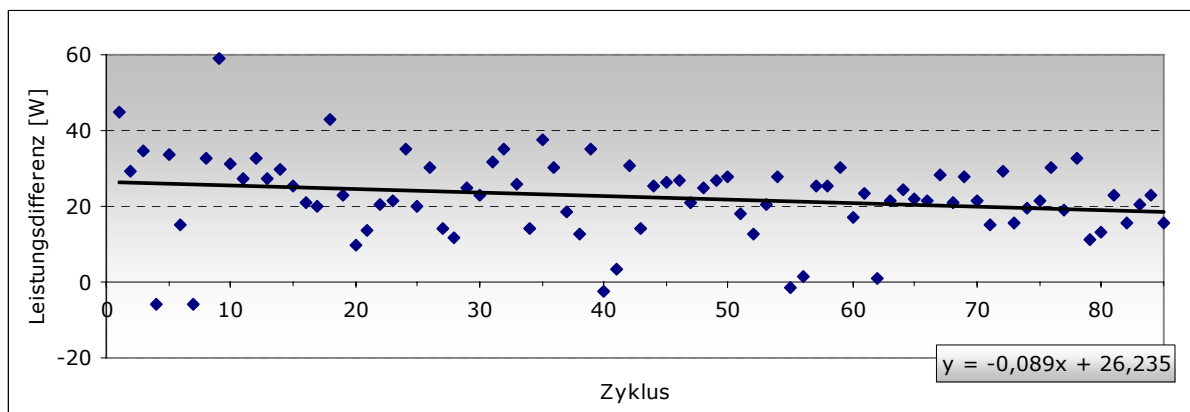


Abb. 32: Absolute Differenzen (re. - li.) der Leistung im Verlauf des 1. KA-Tests, Pb. 01

Während des Trainingsexperimentes war der Schwimmer Pb. 01 in der Testgruppe, die mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die rechte und linke Seite trainierte. Da die Kraftwerte der linken Seite im Eingangstest unter den der rechten Seite lagen, musste dieser Proband mit höheren Belastungen für die linke Seite trainieren. Diese lagen um 5 % über denen der rechten Seite. Die genauen Einstellungen für diesen Probanden am AKZ können der Tab. 38 entnommen werden.

Tab. 38: Bremslasteinstellung am AKZ für das Zugtraining des Schwimmers Pb. 01

	Zugphase					Freilauf- bremslast
	1.	2.	3.	4.	5.	
Zugweg [%]	0 - 10	10 - 25	25 - 40	40 - 70	70 - 100	
links [%]*	20	30	40	45	55	55
rechts [%]*	15	25	35	40	50	50

* (die Prozentwerte beziehen sich auf die max. einzustellende Kraft von 700 N)

Die 2. Messung erfolgte nach den ersten 4 Wochen Training, in dem mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen trainiert wurde. Im Vergleich zur 1. Messung erreichte der Schwimmer höhere Leistungs- und Kraftwerte für beide Seiten bei gleicher Zugfrequenz. Sein Zugweg war länger mit einer gleichzeitigen Verringerung der Zugzeit (siehe Tab. 39).

Am Ende des 8wöchigen Trainings erfolgte die 3. Messung. Im Vergleich zur 2. konnte der Schwimmer seine Leistungswerte weiter steigern. Die mittlere Kraft der linken Seite nahm gering zu (0,4 N) und die der rechten gering ab (0,8 N). Der Schwimmer konnte bei der 3. Messung längere Zugwege mit gering längeren Zugzeiten realisieren, was sich positiv auf die Leistungswerte auswirkt. Der dritte KA-Test wurde mit einer um 1,4 Schläge in der Minute höheren Zugfrequenz absolviert.

Nach weiteren 4 Wochen, in denen kein Training mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen am AKZ stattfand, erfolgte der 4. Test. Der Schwimmer konnte seine mittlere Leistung weiter steigern, die mittlere Kraft der linken Seite gering erhöhen, die der rechten sank geringfügig. Mit der leicht gestiegenen Zugfrequenz konnte der Schwimmer seine Zugzeit – bei relativ gleich gebliebenen Zugwegen – weiter verringern.

Die Ergebnisse der vier Tests (Ausgangs-, Zwischen-, End- und Nachtest) werden im Folgenden zusammenfassend für die einzelnen Parameter in der Tab. 39 dargestellt.

Tab. 39: Ergebnisse (Mw. \pm SD.) der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01 für das AKZ

		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
P_{mit} [W]	li.	167,0 \pm 20,8	198,1 \pm 29,8	204,0 \pm 34,4	211,2 \pm 31,6
	re.	189,4 \pm 22,0	214,5 \pm 30,3	219,6 \pm 35,4	223,0 \pm 33,7
F_{mit} [N]	li.	81,2 \pm 5,4	92,3 \pm 8,2	92,7 \pm 8,8	93,7 \pm 7,9
	re.	88,7 \pm 5,3	99,2 \pm 7,7	98,4 \pm 8,6	97,6 \pm 7,8
F_{max} [N]	li.	102,0 \pm 6,9	119,9 \pm 8,0	123,9 \pm 8,6	130,2 \pm 7,4
	re.	112,9 \pm 7,8	133,1 \pm 9,4	131,0 \pm 10,0	132,2 \pm 9,7
s [mm]	li.	1465,1 \pm 43,3	1507,0 \pm 29,3	1547,1 \pm 29,5	1531,1 \pm 25,7
	re.	1497,0 \pm 30,6	1509,8 \pm 27,3	1559,2 \pm 28,3	1538,0 \pm 29,6
t [ms]	li.	766,4 \pm 29,6	750,9 \pm 43,9	753,5 \pm 44,3	723,9 \pm 41,7
	re.	767,9 \pm 30,7	749,1 \pm 27,7	757,2 \pm 38,9	731,0 \pm 35,1
ZF [min⁻¹]		43,6 \pm 1,7	43,6 \pm 1,0	45,0 \pm 1,0	45,9 \pm 1,1

Auf den kommenden Seiten werden die Parameter mittlere Leistung (P_{mit}), mittlere (F_{mit}) und maximale Kraft (F_{max}), Zugweg (s) und -zeit (t) separat betrachtet und ausgewertet.

6.1.2.1 Mittlere Leistung

Die Werte in der Tab. 40 und der Abb. 33 zeigen deutlich eine Abnahme der Differenzen (absolute sowie prozentuale) zwischen den beiden Seiten in der mittleren Leistung. Auffällig ist der weitere Abfall der Differenz vom 3. zum 4. Test. In der Zeit zwischen den beiden Tests erfolgte kein Training mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen.

Tab. 40: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Leistung der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01

	abs. Diff. [W]	mittlere Leistung (P_{mit})			
		proz. Diff. [%]	r	r ²	b
1. Messung	22,4 \pm 10,8	11,8 \pm 5,7	0,8753	0,7661	-0,0890
2. Messung	16,5 \pm 10,9	7,7 \pm 5,1	0,9367	0,8775	-0,0072
3. Messung	15,6 \pm 9,3	7,1 \pm 4,2	0,9675	0,9361	-0,0223
4. Messung	11,8 \pm 9,1	5,3 \pm 4,1	0,9671	0,9352	-0,0455

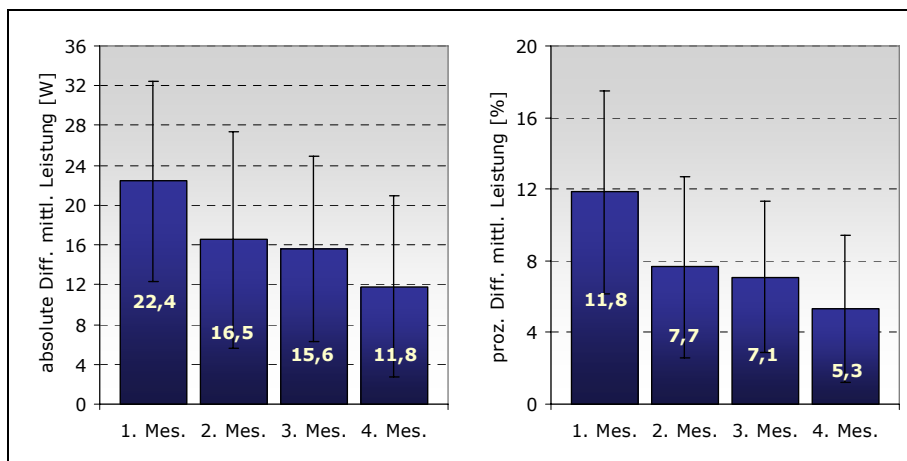


Abb. 33: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der mittleren Leistung, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01

Die negativen Regressionskoeffizienten (b) und die positiven Differenzen aus der Tab. 40 zeigen einen geringen Abfall der Seitendifferenz über die 2minütigen Tests an, der über die vier Tests relativ konstant bleibt.

Durch die Lage der Punkte in den Streudiagrammen (Abb. 34) wird ebenfalls deutlich, dass die Leistungsdifferenz zwischen der linken und rechten Seite über die vier Tests abnimmt. Die Leistungswerte nähern sich zum Test 4 hin der Ideallinie (gestrichelte Linie) immer mehr an. Durch den Korrelationskoeffizienten wird der Zusammenhang der beiden Seiten verdeutlicht. Für die Tests 2 bis 4 ist die Korrelation mit Werten von $r = 0,9367$ bis $r = 0,9675$ sehr hoch.

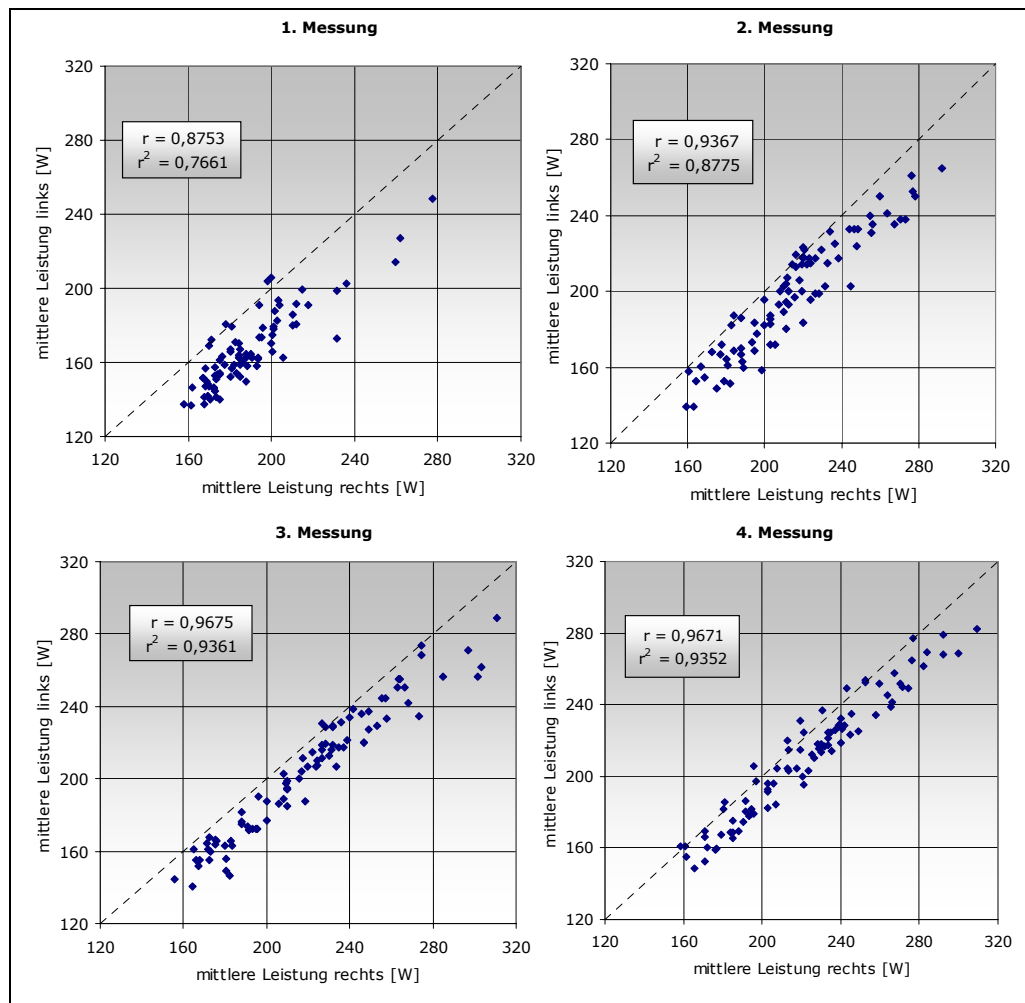


Abb. 34: Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die mittlere Leistung mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01

6.1.2.2 Mittlere Kraft

In der unten stehenden Tabelle (Tab. 41) sowie in der Abb. 35 sind die absoluten und prozentualen Differenzen sowie die Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten der mittleren Kraft dargestellt. Wie bei der mittleren Leistung ist eine Verkleinerung der Differenzen über die vier Tests zu beobachten. So verringert sich beispielsweise die prozentuale Differenz um mehr als die Hälfte von 8,5 auf 4,0 %. Die positiven Regressionskoeffizienten (b) weisen auf eine relativ geringe Vergrößerung der Seitendifferenz über die Zeit der Kraftausdauertests (2 Minuten) hin.

Tab. 41: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Kraft der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01

	mittlere Kraft (F_{mit})				
	absolute Diff. [N]	proz. Diff. [%]	r	r^2	b
1. Messung	7,5 \pm 3,2	8,5 \pm 3,7	0,8160	0,6659	0,0095
2. Messung	6,9 \pm 2,8	7,0 \pm 2,8	0,9409	0,8852	0,0223
3. Messung	5,7 \pm 2,6	5,8 \pm 2,6	0,9607	0,9227	0,0096
4. Messung	3,9 \pm 2,4	4,0 \pm 2,5	0,9588	0,9193	0,0080

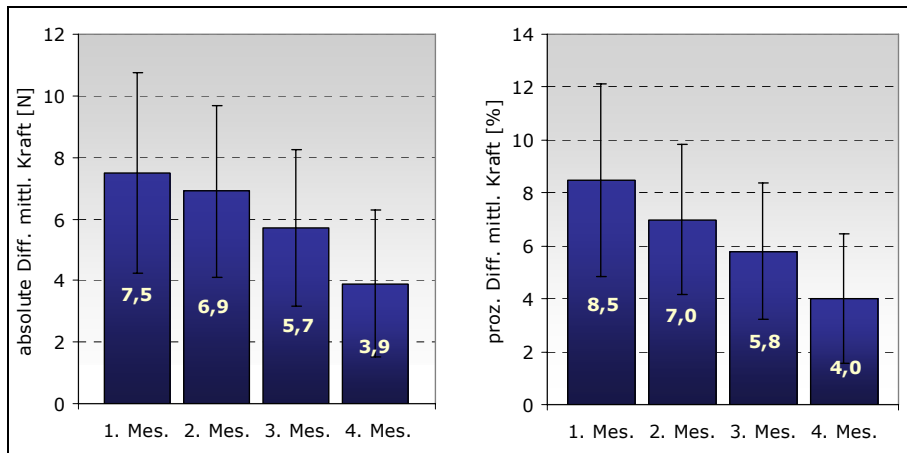


Abb. 35: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der mittleren Kraft, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01

Die folgende Abbildung (Abb. 36) zeigt vier Streudiagramme, in denen die mittleren Kraftwerte der beiden Seiten gegeneinander eingezeichnet sind.

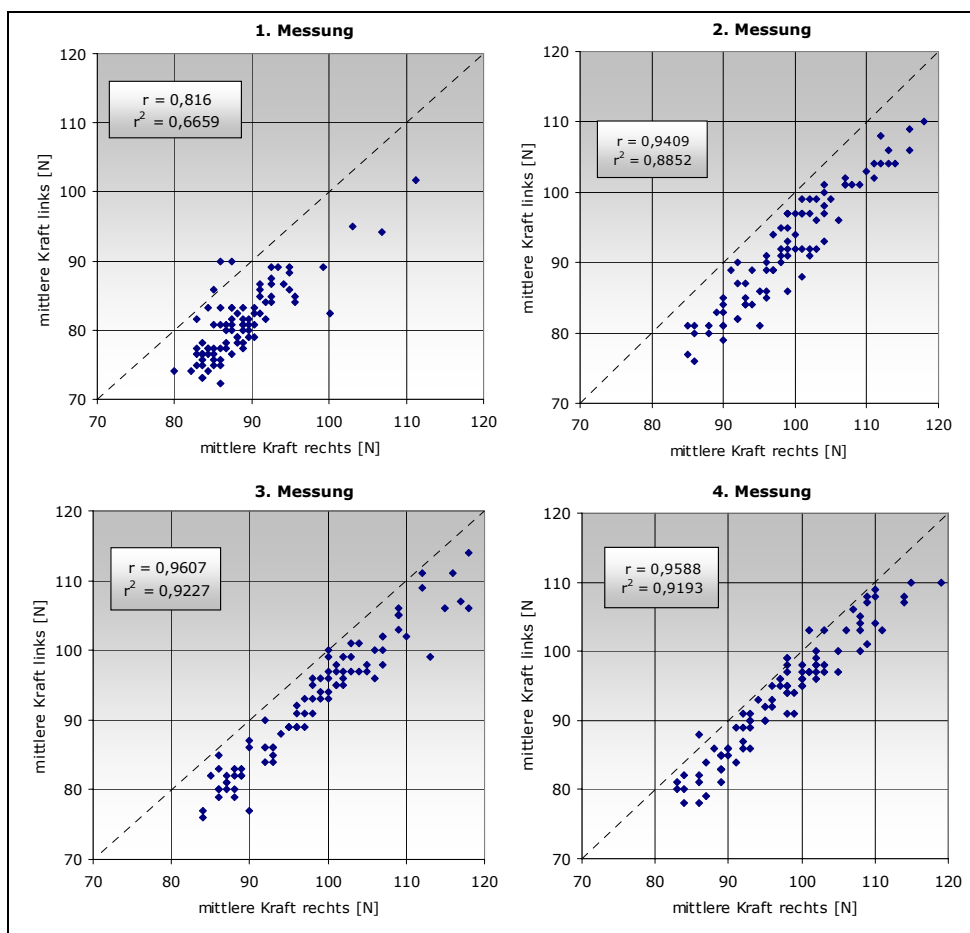


Abb. 36: Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die mittlere Kraft mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01

Auch dort ist, wie bei der mittleren Leistung, eine Verschiebung der Punkte über die vier Tests zur Ideallinie hin zu sehen. Der Zusammenhang zwischen den beiden Seiten

erreicht im 3. Test mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,9607$ und einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,9227$ einen sehr hohen Wert und somit eine sehr hohe Korrelation. Im 4. Test werden der Korrelationswert und das Bestimmtheitsmaß vom 3. nur geringfügig unterschritten. Somit ergibt sich auch für diesen Test eine sehr hohe Korrelation.

6.1.2.3 Maximale Kraft

Die gemittelten Werte der maximalen Kraft sind der Tab. 42 sowie der Abb. 37 zu entnehmen. Auffällig ist hier der starke Abfall der Differenzen (absolute und prozentuale) zwischen den beiden Seiten von 11,0 N (9,7 %) bei der 1. Messung auf 2,0 N (1,5 %) bei der 4. Messung. Die Korrelationswerte sowie die Bestimmtheitsmaße bleiben dahingegen relativ konstant. Die negativen Regressionskoeffizienten im Zusammenhang mit den positiven abs. und proz. Differenzen weisen auf eine sich verkleinernde Seitendifferenz über die 2 Minuten Testdauer hin.

Tab. 42: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die maximale Kraft der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01

	maximal Kraft (F_{\max})				
	abs. Diff. [N]	proz. Diff. [%]	r	r^2	b
1. Messung	11,0 \pm 5,2	9,7 \pm 4,6	0,7570	0,5731	-0,0505
2. Messung	13,2 \pm 6,2	9,9 \pm 4,6	0,7661	0,5869	-0,0290
3. Messung	7,1 \pm 5,4	5,4 \pm 4,1	0,8376	0,7016	-0,0734
4. Messung	2,0 \pm 6,4	1,5 \pm 4,8	0,7932	0,6292	-0,1048

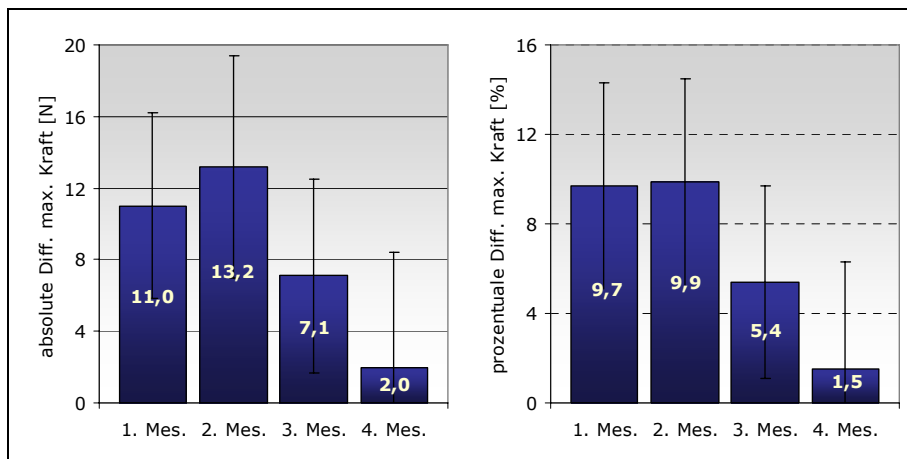


Abb. 37: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der maximalen Kraft, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01

In den folgenden Streudiagrammen (Abb. 38) wird die Verringerung des Unterschiedes zwischen den beiden Seiten über die vier Tests mit gleichzeitiger relativer Konstanz des Korrelationskoeffizienten deutlich. Bei der 1. Messung befinden sich noch alle Punkte auf der rechten Seite des Streudiagramms, während sie sich bei der 4. Messung um die

Ideallinie verteilen. Durch die große Streuung der Punkte, die über die vier Messungen konstant bleibt, ergibt sich der relativ gleich bleibende Korrelationskoeffizient.

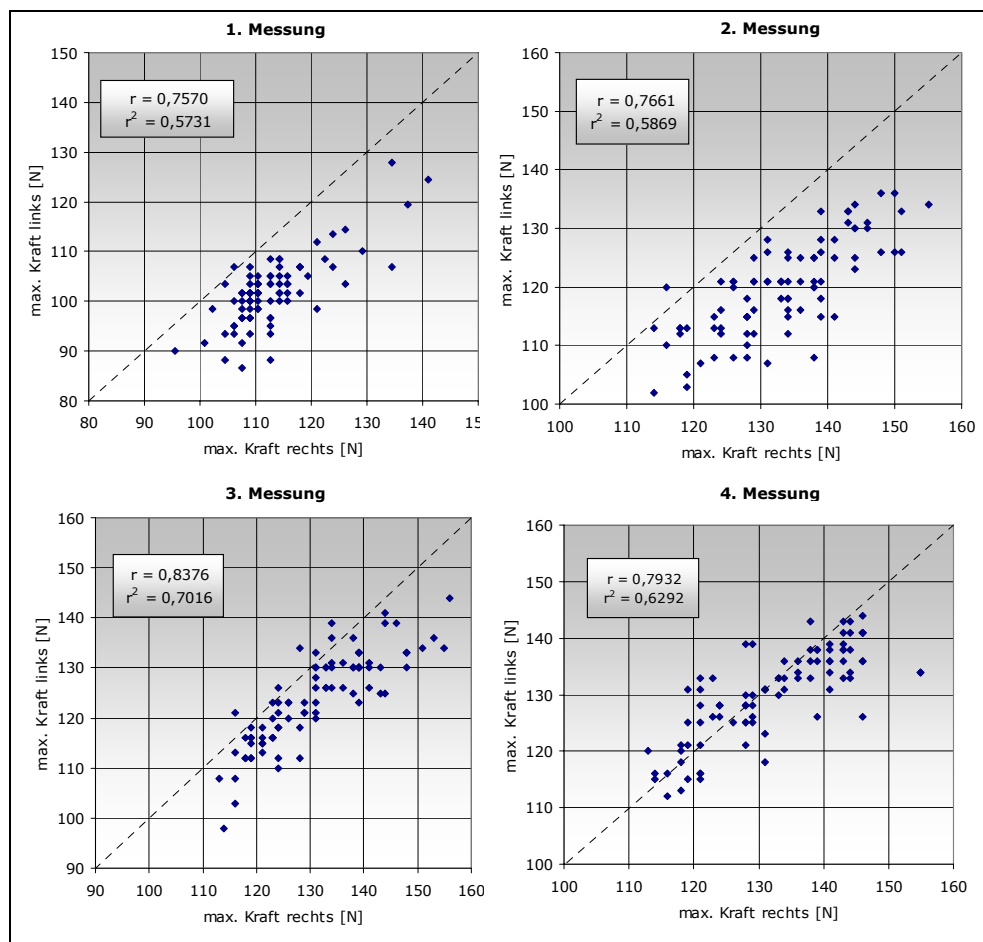


Abb. 38: Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die maximalen Kraft mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01

6.1.2.4 Zugweg

Beim Zugweg findet sich ebenfalls eine Verkleinerung der Differenzen, wie in Tab. 43 und Abb. 39 zu sehen ist. Die prozentuale Ausgangsdifferenz (1. Messung) liegt bei 2,1 %, was auf einen sehr geringen Unterschied hinweist. Bei einem Zugweg von 1,465 m für links und 1,497 m für rechts ist eine absolute Differenz von 3,1 cm nicht von Bedeutung. Auffällig sind die hohen Standardabweichungen für die Differenzen.

Tab. 43: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für den Zugweg der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01

	Zugweg (s)				
	abs. Diff. [mm]	proz. Diff. [%]	r	r ²	b
1. Messung	31,9 \pm 37,9	2,1 \pm 2,5	0,5173	0,2676	-0,2357
2. Messung	2,7 \pm 31,3	0,2 \pm 2,1	0,3898	0,1519	0,1682
3. Messung	12,1 \pm 30,7	0,8 \pm 2,0	0,4681	0,2481	-0,2003
4. Messung	6,9 \pm 31,7	0,5 \pm 2,1	0,3428	0,1175	-0,2121

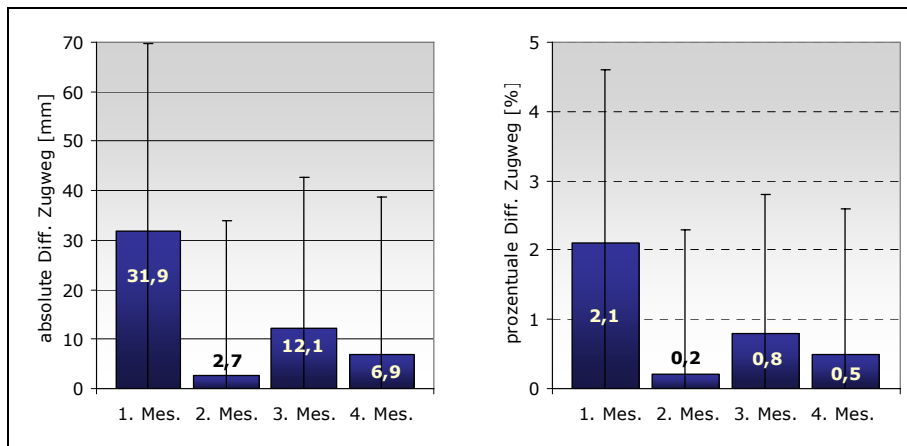


Abb. 39: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) des Zugweges, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01

Die Regressionskoeffizienten der 1., 3. und 4. Messung weisen auf eine sich verkleinernde Seitendifferenz über die 2 Minuten Testdauer hin. Die niedrigen Werte für die Korrelationskoeffizienten und die Bestimmtheitsmaße ergeben sich aus der großen Streuung der Werte. Dies wird deutlich in den Streudiagrammen der Abb. 40.

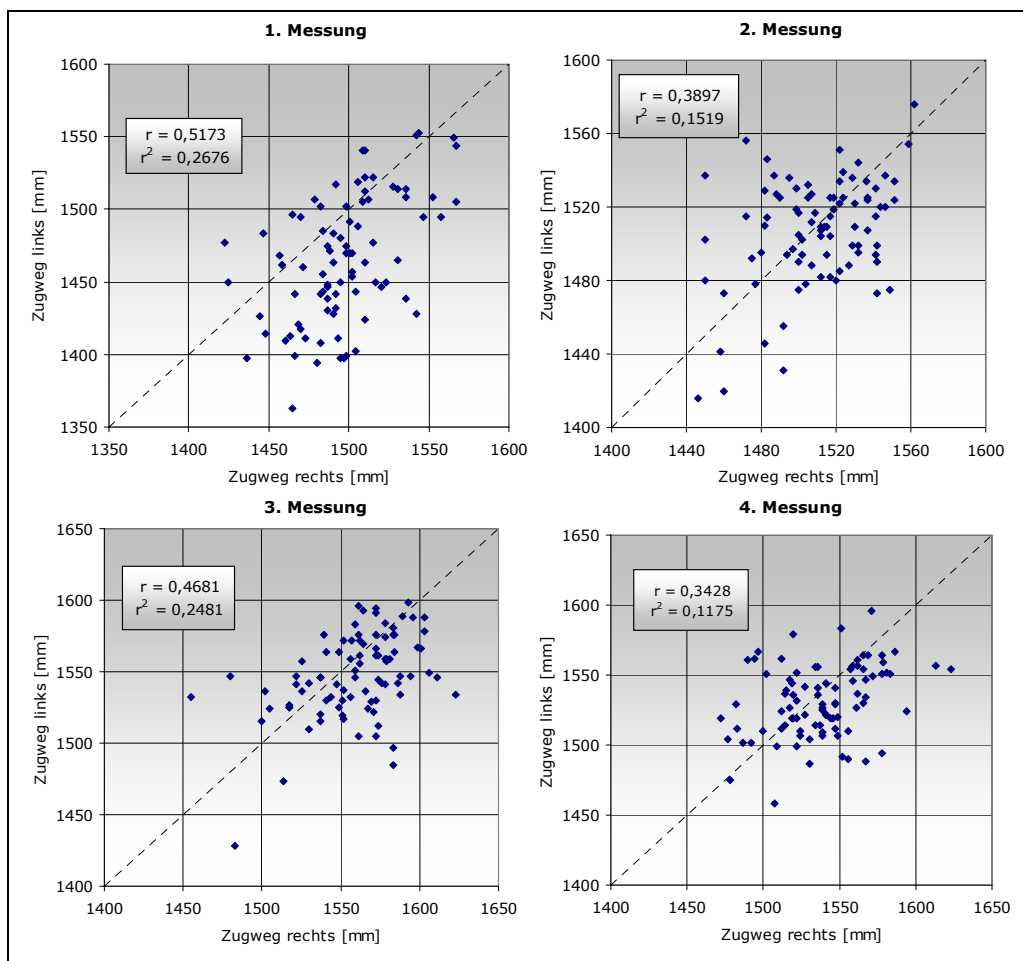


Abb. 40: Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für den Zugweg mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01

6.1.2.5 Zugzeit

Die Zugzeit weist so gut wie keine Unterschiede zwischen den beiden Seiten auf. Die prozentualen Differenzen liegen bei allen vier Messungen unter einem Prozent (die prozentuale Differenz bei der 4. Messung ist der gerundete Wert von 0,9728 %).

Tab. 44: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die Zugzeit der 4 Tests vom Schwimmer Pb. 01

	Zugzeit (t)				
	absolute Diff. [ms]	proz. Diff. [%]	r	r ²	b
1. Messung	1,5 \pm 24,5	0,2 \pm 3,2	0,6738	0,4540	-0,2904
2. Messung	-1,9 \pm 27,7	0,2 \pm 3,7	0,7906	0,6250	-0,1760
3. Messung	3,6 \pm 22,2	0,5 \pm 2,9	0,8586	0,7372	-0,3059
4. Messung	7,1 \pm 21,7	1,0 \pm 3,0	0,8692	0,7556	-0,2216

Auch bei der Zugzeit fallen die hohen Standardabweichungen im Vergleich zu den Mittelwerten auf. Dies ist u. a. durch die Messung der Zeit bedingt: Der kleinste messbare Zeitabstand, der durch die Gerätespezifikationen gegeben ist, beträgt 10 ms. Die negativen Regressionskoeffizienten deuten auf eine fallende Differenz während eines Tests zwischen den beiden Seiten (bei positiven absoluten Differenzen) hin.

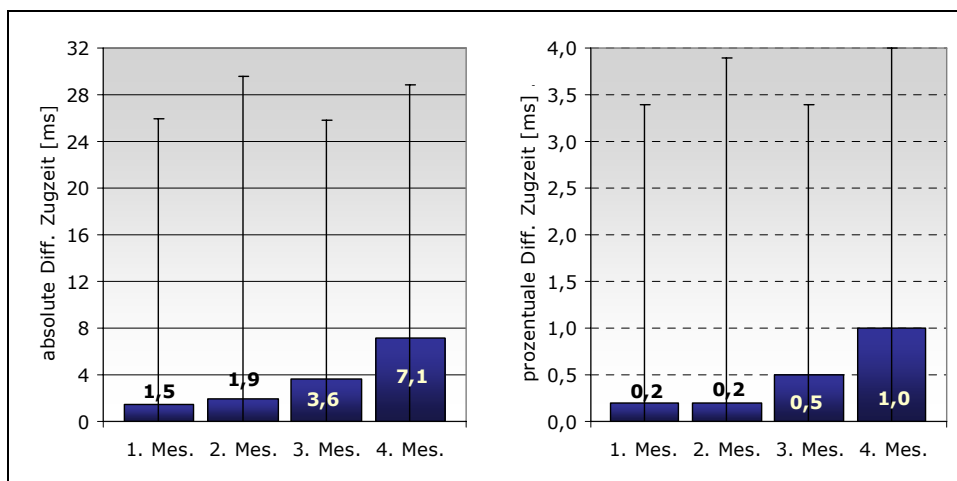


Abb. 41: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der Zugzeit, Tests 1 bis 4 vom Schwimmer Pb. 01

Die geringen Mittelwertunterschiede zeichnen sich auch in den Streudiagrammen der Abb. 42 ab. Die Punkte verteilen sich gleichmäßig auf beide Seiten der Ideallinie. Die Korrelationskoeffizienten zeigen mit Werten von $r = 0,6738$ (1. Messung) bis $r = 0,8692$ (4. Messung) eine mittlere bis hohe Korrelation an, wobei die Korrelation bis zur 4. Messung steigt.

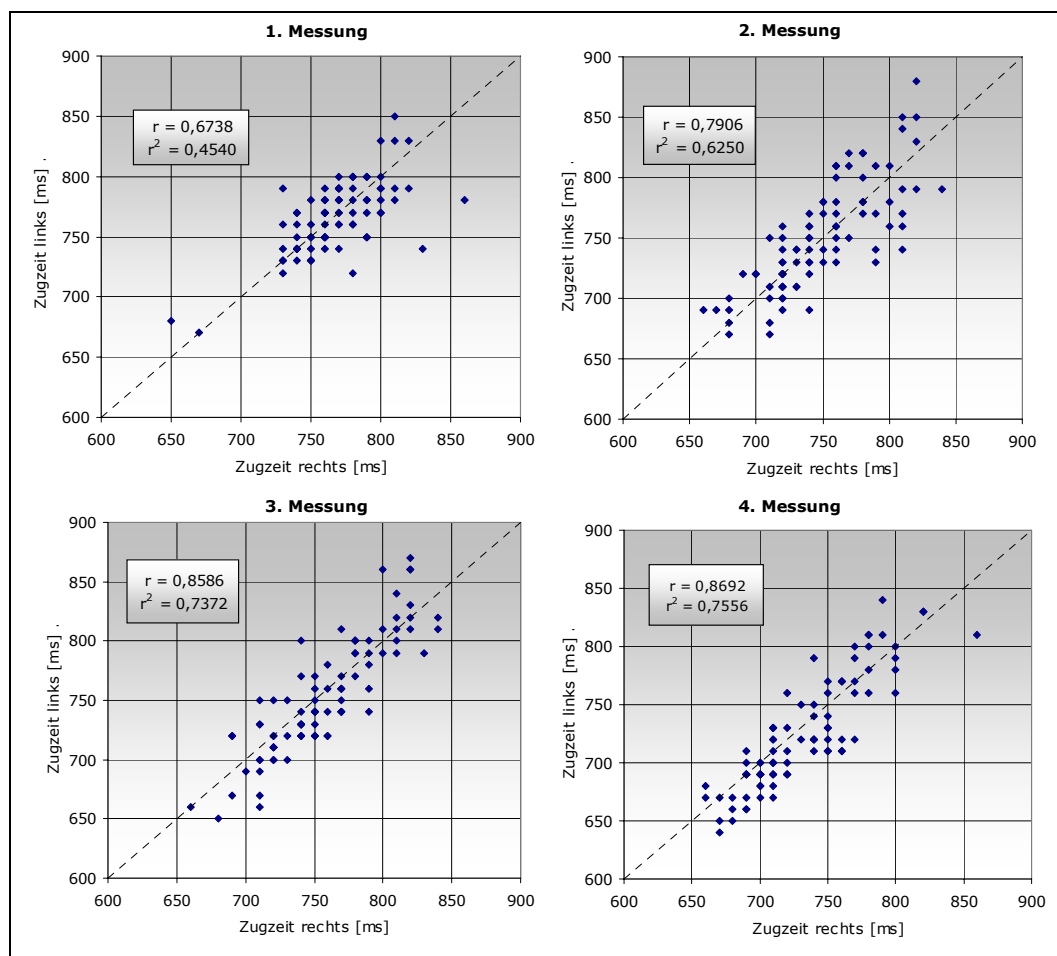


Abb. 42: Streudiagramme der Tests 1 bis 4 für die Zugzeit mit Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß vom Schwimmer Pb. 01

6.1.2.6 Laktat

Die folgende Tab. 45 fasst die Laktatwerte, die vor und nach den Tests gemessen wurden, zusammen.

Tab. 45: Laktatwerte des Schwimmers Pb. 01 vor und nach dem KA-Test

	Laktat [mmol/l]		
	Ruhe	direkt nach Belastung	3 min nach Belastung
1. Messung	1,5	5,8	6,9
2. Messung	1,4	7,6	9,2
3. Messung	0,8	5,5	9,6
4. Messung	1,0	5,5	7,6

Der Schwimmer Pb. 01 konnte bei jeder Messung mit einem normalen Ruhelaktat den Test beginnen. Die Laktatwerte der ersten Messung nach der Belastung lassen eine hohe Beanspruchung erkennen. Bei der zweiten und dritten Messung erreichte die Laktatkonzentration 3 Minuten nach den Tests Werte über 9 mmol/l, was auf eine sehr hohe Beanspruchung und demnach auf eine Ausbelastung (für einen ausdauertrainierten Schwimmer) deutet.

6.1.3 Wettkampfzeiten

Vor dem Beginn des Trainingsexperimentes konnte der Schwimmer Pb. 01 bei Wettkämpfen die in Tab. 46 stehenden Zeiten im Schwimmstil „Rücken“ erzielen.

Tab. 46: Wettkampfzeiten des Schwimmers Pb. 01 im Rückenschwimmen auf der Langbahn (50 m Bahn) vor und nach dem Trainingsexperiment (DM – Deutsche Meisterschaften)

Wettkampf	50 m [min:s]	100 m [min:s]	200 m [min:s]
Juni 2004 (DM)	0:26,65	0:56,51	2:00,56
Dezember 2004	0:27,14	0:56,90	2:05,41
Feb. – April 2005	Trainingsexperiment		
April 2005	0:27,33	0:58,07	2:04,43
Mai 2005 (DM)	0:27,03	0:56,44	2:01,81

Unmittelbar nach dem Trainingsexperiment erzielte der Schwimmer zwar auf 200 m eine kürzere Zeit und somit eine höhere mittlere Schwimmgeschwindigkeit, aber im Vergleich zu den Jahreshöhepunkten (Deutsche Meisterschaften – DM) ist diese Zeitdifferenz unbedeutend. Nur auf den 100 m bei den Deutschen Meisterschaften ist eine geringe Verbesserung zu verzeichnen.

6.1.4 Zusammenfassung

Der Schwimmer Pb. 01 zeigt am Armkraftzuggerät über den Testzeitraum eine Verringerung des Seitenunterschiedes bei der Kraft sowie bei der Leistung. Die absolute Differenz der mittleren Kraft wurde von 7,5 N auf 3,9 N (prozentual von 8,5 % auf 4,0 %) und die der maximalen Kraft von 11,0 N auf 2,0 N (prozentual von 9,7 % auf 1,5 %) gesenkt. Bei der mittleren Leistung konnte eine Senkung der absoluten Differenz von 22,4 W auf 11,8 W (prozentual von 11,8 % auf 5,3 %) erreicht werden. Eine Veränderung der einzelnen Parameter im Verlauf über die 2 Minuten Testzeit für die vier Tests konnte bei keinem Parameter nachgewiesen werden. Die Regressionskoeffizienten blieben über die 4 Tests relativ konstant. Die Laktatwerte, die der Schwimmer nach den Tests erreichte, bringen deutlich eine hohe Belastung zum Ausdruck. Im Strömungskanal konnten bei einer Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$ keine Seitenunterschiede nachgewiesen werden. Über die vier Tests zeigte der Schwimmer beim Kraulschwimmen im Kanal eine gleich bleibende Leistung mit homogenen Geschwindigkeitsverläufen für beide Seiten. Die Wettkampfzeiten nach dem Trainingsexperiment wiesen keine Verbesserungen im Vergleich zu denen davor auf.

6.2 Ergebnisse aller Probanden, Gruppen und Tests

In den nächsten Kapiteln werden die Ergebnisse aller Probanden aus beiden Trainingsgruppen dargestellt. Fünf von insgesamt 22 Schwimmern mussten

krankheitsbedingt das Wasser- und Krafttraining während des Trainingsexperimentes eine Zeit lang unterbrechen. Somit wurden diese fünf Schwimmer von der Auswertung ausgeschlossen, unter ihnen einer aus der Testgruppe, der mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen trainierte. Somit ergibt sich für die Gruppen- und Testvergleich (Test- vs. Kontrollgruppe sowie Vergleiche zwischen den einzelnen Messungen) ein Stichprobenumfang von insgesamt 17 Probanden, 7 in der Test- und 10 in der Kontrollgruppe.

Im Folgenden werden u. a. die Unterschiede sowie die Gemeinsamkeiten zwischen den beiden Gruppen (Test- und Kontrollgruppe) für die Parameter Zugfrequenz, Gesamt- (P_{ges}) und mittlere Leistung (P_{mit}), mittlere (F_{mit}) und maximale Kraft (F_{max}), Zugweg (s), Zugzeit (t) sowie Laktat (Ruhe, nach Belastung und 3 min nach Belastung) dargestellt. Vor der Mittelung der Seitendifferenzen wurde von allen negativen Werten der Betrag gebildet. Ein negativer Differenzwert zeigt nur an, dass bei der linken Seite ein höherer Wert als bei der rechten gemessen wurde (Diff. = Wert rechts – Wert links).

6.2.1 Strömungskanal

Bei der zweiten Trainingsgruppe wurde auf Messungen im Strömungskanal verzichtet, da dieser durch zwingend notwendige Reparatur- und Wartungsarbeiten geschlossen war und nicht wie geplant wieder in Betrieb genommen werden konnte. Eine erste Messung wäre erst vier Wochen nach Beginn des Trainingsexperimentes möglich gewesen. Da aber zu diesem Zeitpunkt keine Ausgangswerte mehr erhoben und das Trainingsexperiment auf Grund der Trainings- und Wettkampfplanung auch nicht um vier Wochen nach hinten verschoben werden konnte, musste auf diese Diagnosemessungen verzichtet werden. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel nur auf die Ergebnisse der Messungen aus der ersten Trainingsgruppe eingegangen.

Im Strömungskanal zeigten die Leistungsschwimmer beim Kraulschwimmen im Geschwindigkeitsverlauf des Hüftpunktes einen nahezu übereinstimmenden Verlauf für die beiden Seiten. Beim Vergleich der intrazyklischen Geschwindigkeit des Hüftpunktes, während der linke Arm durch das Wasser zieht, mit der Geschwindigkeit, während der rechte Arm durch das Wasser zieht, sind kaum Unterschiede in der Geschwindigkeitsgestaltung innerhalb eines Zyklus zu finden. Wie bereits im Kapitel 6.1.1 ist auch hier anzumerken, dass die Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$, mit welcher die Schwimmer die Untersuchungen durchführten, in Absprache mit dem Trainier unter Berücksichtigung des Trainings- und Wettkampfkongzeptes der Sportler erfolgte. In Folge dessen entsprachen die Strömungsgeschwindigkeiten nicht den maximalen Leistungen bzw. Schwimmgeschwindigkeiten der Schwimmer auf 100 m und

somit nicht den berechneten Schwimmgeschwindigkeiten, die von allen Probanden im Mittel bei $v = 1,87 \pm 0,05$ m/s (Max: 1,96 m/s; Min: 1,78 m/s) lag.

Die weiteren Untersuchungen (Test 2 bis 4) der innerzyklischen Geschwindigkeit des Hüftpunktes beim Schwimmen im Strömungskanal bei einer Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1.6$ m/s ergaben keine Veränderung zum Eingangstest. Die Geschwindigkeitskurven zeigen einen identischen Verlauf zu denen des Eingangstestes.

6.2.2 Armkraftzuggerät

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Parameter Zugfrequenz, mittlere Leistung, mittlere und maximale Kraft, Zugweg, -zeit und Laktat aller 17 Leistungsschwimmer dargestellt.

6.2.2.1 Zugfrequenzen

Einzelfallanalyse

Bei den 2minütigen Kraftausdauertests am Armkraftzuggerät wurden mit den in Tab. 47 stehenden Frequenzen gezogen. Auffällig sind die Zugfrequenzen der Probanden 03, 12, 13 und 19 der 1. Messung im Vergleich zu den folgenden Tests, die mit deutlich höheren Zugfrequenzen absolviert wurden.

Tab. 47: Zugfrequenzen am AKZ der Probanden für die vier KA-Tests (T – Testgruppe, K – Kontrollgruppe)

Pb.	Gruppe	Zugfrequenz [1/min]			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
01	T	43,6	43,6	45,0	45,9
03	K	29,4	32,6	37,9	34,4
04	K	38,4	38,5	37,2	41,3
05	T	43,6	44,8	41,9	46,4
07	K	37,7	36,2	37,9	38,5
09	T	38,0	39,9	38,5	38,9
10	K	36,2	39,3	38,0	37,3
12	K	30,6	40,3	39,9	38,6
13	K	37,9	43,4	45,2	46,4
14	K	44,1	42,8	43,1	42,1
15	K	43,6	43,8	41,1	42,2
16	K	41,5	38,3	38,6	37,3
17	K	40,2	44,5	42,0	39,6
18	T	38,8	40,8	39,2	38,1
19	T	32,6	37,5	38,9	36,3
21	T	36,8	37,9	40,9	37,0
22	T	38,0	40,8	40,9	41,9

Aus dem oben angegebenen Grund ergeben sich statistisch signifikante Unterschiede der Mittelwerte zwischen den Messungen 1 und 2 bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,01629$, zwischen der 1. und 3. Messung von $p = 0,0398$ sowie zwischen der 1. und

4. Messung von $p = 0,0392$. Bei allen anderen Vergleichen wie beispielsweise 2. zur 4. Messung ergeben sich Niveauewerte von $p > 0,1$.

Gruppen- und Testvergleich

Die Werte der gemittelten Zugfrequenzen der Test- und der Kontrollgruppe für die vier Messungen sowie die p-Werte der Signifikanztests (Test- vs. Kontrollgruppe) können der Tab. 48 entnommen werden. Zwischen den beiden Gruppen ist kein signifikanter Unterschied nachzuweisen.

Tab. 48: Gemittelte Zugfrequenzen der Test- ($n = 7$) und Kontrollgruppe ($n = 10$) für die vier Messungen sowie der p-Wert der Signifikanzprüfung (Test- vs. Kontrollgruppe)

Zugfrequenzen [1/min]				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
Testgruppe ($n = 7$)	$38,8 \pm 3,9$	$40,8 \pm 2,7$	$40,8 \pm 2,2$	$40,6 \pm 4,2$
Kontrollgruppe. ($n = 10$)	$38,0 \pm 4,9$	$40,0 \pm 3,8$	$40,1 \pm 2,7$	$39,8 \pm 3,4$
p-Wert	0,7213	0,6448	0,5980	0,6393

In der folgenden Abbildung (Abb. 43) sind die Werte der Zugfrequenzen für beide Gruppen und für die vier Messungen graphisch dargestellt.

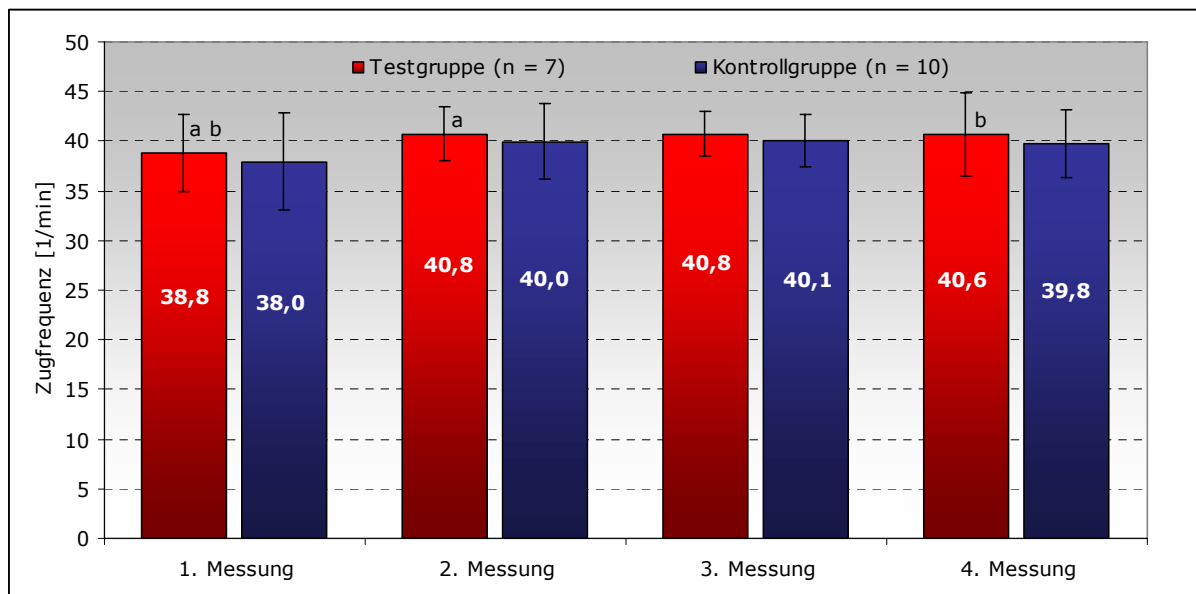


Abb. 43: Gemittelte Zugfrequenzen der Test- ($n = 7$) und Kontrollgruppe ($n = 10$) für die vier Messungen; a und b - signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

Werden die einzelnen Messungen in den beiden Gruppen statistisch verglichen, so zeigt die Testgruppe in der 1. Messung im Vergleich zur 2. sowie zur 4. Messung eine signifikant niedrigere Zugfrequenz (1. vs. 2. Messung: $p = 0,0149$; 1. vs. 4. Messung: $p = 0,0314$). Beim Vergleich 1. zur 3. Messung ist noch eine Tendenz bei einem p-Wert von $p = 0,0960$ nachzuweisen. Alle anderen Vergleiche zeigen keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,1$)

6.2.2.2 Gesamt- und mittlere Leistungen

Einzelfallanalyse

Für die mittleren Leistungen (P_{mit}) sind die Beträge der prozentualen Differenzen der beiden Seiten für alle Probanden in der Tab. 49 zusammenfassend dargestellt. Eine ausführliche Darlegung der erreichten Werte und der Ergebnisse (absolute und prozentuale Differenzen, Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten) ist im Anhang (Tab. A 17, Tab. A 22 sowie Tab. A 28, Tab. A 33) zu finden.

Bei der Analyse der erreichten Werte für die mittlere Leistung bzw. bei der der prozentualen Differenzen fällt auf, dass 6 von den 7 Probanden der Testgruppe sowie alle der Kontrollgruppe keine eindeutige Verringerung der Differenz aufweist. Proband 08 erzielte zwar in der ersten Messung die höchste und in den darauf folgenden Messungen niedrigere prozentuale Differenzen, aber die hohe Differenz in der 1. Messung kann auch auf seine nicht so gute Zugtechnik zurück geführt werden. Diese verbesserte sich im Laufe des Trainingsexperimentes durch das wöchentliche Training am Armkraftzuggerät. Allein der Proband 01 erreichte eine Reduzierung der absoluten sowie der prozentualen Seitendifferenz.

Tab. 49: Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die mittlere Leistung der 4 Tests

Pb.	Gruppe	prozentuale Differenzen der mittleren Leistung [%]			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
01	T	11,8 \pm 5,7	7,7 \pm 5,1	7,1 \pm 4,2	5,3 \pm 4,1
03	K	2,3 \pm 4,5	5,8 \pm 7,7	4,2 \pm 8,5	12,6 \pm 8,2
04	K	2,5 \pm 9,3	4,3 \pm 11,8	0,5 \pm 10,4	0,7 \pm 9,7
05	T	8,8 \pm 6,4	13,6 \pm 7,7	14,1 \pm 8,8	11,3 \pm 8,6
07	K	1,9 \pm 12,1	13,9 \pm 8,2	14,2 \pm 8,2	10,2 \pm 7,7
09	T	9,1 \pm 5,2	17,9 \pm 4,4	15,6 \pm 3,7	10,9 \pm 4,8
10	K	6,8 \pm 6,1	6,9 \pm 6,6	2,9 \pm 6,4	0,7 \pm 4,5
12	K	3,5 \pm 11,3	3,5 \pm 10,1	11,6 \pm 9,5	10,1 \pm 10,9
13	K	4,5 \pm 9,0	2,3 \pm 7,5	4,5 \pm 5,7	1,2 \pm 6,5
14	K	2,4 \pm 6,2	4,4 \pm 6,7	6,9 \pm 6,7	7,0 \pm 7,4
15	K	9,0 \pm 7,4	6,9 \pm 6,7	7,9 \pm 7,6	10,5 \pm 7,1
16	K	0,3 \pm 7,6	3,8 \pm 8,7	2,8 \pm 9,6	1,1 \pm 9,6
17	K	5,1 \pm 6,5	2,0 \pm 5,4	4,2 \pm 7,0	4,2 \pm 7,6
18	T	6,0 \pm 5,1	9,0 \pm 3,2	10,7 \pm 3,9	10,4 \pm 5,6
19	T	4,0 \pm 5,0	6,6 \pm 5,7	5,0 \pm 5,1	3,3 \pm 6,8
21	T	14,5 \pm 9,3	1,2 \pm 10,6	8,2 \pm 6,5	3,5 \pm 8,2
22	T	3,8 \pm 12,1	1,1 \pm 8,5	3,7 \pm 6,8	7,3 \pm 7,1

Bei den Probanden 05 und 09 vergrößerten sich während der Trainingsphase (mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für links und rechts) die Differenzen. Im Nachtest zeigten beide Probanden annähernd die Werte wie vor dem Trainingsexperiment.

Beim Proband 18, A-Kader und zum Zeitpunkt der Tests in der deutschen Nationalmannschaft, verursachte das Training am AKZ mit unterschiedlichen Einstellungen für die linke und rechte Seite eine Vergrößerung der absoluten und dementsprechend auch der prozentualen Differenz (von 6,0 % auf 10,7 % in der 3. Messung). Des Weiteren konnte er zwar in der 2. Messung seine Leistung erhöhen, diese entsprach aber in der dritten Messung weitestgehend der ersten. In der 4. Messung lag diese sogar unter der ersten (siehe Tab. A 28 im Anhang).

Die Probanden der Kontrollgruppe zeigen ebenfalls kein eindeutiges Bild. Bei den Probanden 04 und 10 verringern sich bis zur 4. Messung die prozentualen Differenzen geringfügig und beim Probanden 13 schwanken die Werte um die 3,0 %. Auffällig hingegen sind die Werte der Probanden 03, 07 und 12. Bei Pb. 07 vergrößert sich die prozentuale Differenz von 1,9 % (1. Messung) auf 13,9 % (2. Messung) und fällt erst zur 4. Messung auf 10,2 % ab. Eine Vergrößerung der prozentualen Differenz zeigt Pb. 12 ab der 3. Messung und Pb. 03 in der 4. Messung.

Bei der Analyse des Zusammenhanges der linken mit der rechten Seite fallen im Vergleich zu den Probanden der Kontrollgruppe die Vergrößerungen der Korrelationskoeffizienten für die 7 Probanden der Testgruppe zur 3. Messung hin auf, die bis zur 4. Messung größtenteils stabil blieben. Die Pb. 01, 09 sowie 18 erreichten für die 2. und 3. Messung Korrelationswerte von $r > 0,9$, die nur Pb. 01 und 18 bis zur 4. Messung halten konnten. Bei den Probanden der Kontrollgruppe zeigen die Pb. 07, 12 und 13 eine Vergrößerung der Korrelationskoeffizienten, die bei den Pb. 07 und 13 bis zur 4. Messung konstant blieb. Beim Pb. 12 fällt der Korrelationskoeffizient bei der 4. Messung bis unter den Ausgangswert ab. Bei den restlichen Probanden der Kontrollgruppe bleiben die Korrelationswerte relativ stabil. Hervorzuheben sind die Werte des Pb. 13, bei dem der Korrelationskoeffizient von $r = 0,6199$ (1. Mess.) auf $r = 0,9430$ (3. Mess.) gestiegen ist und bis zur 4. Messung gehalten wurde ($r = 0,9215$).

Bei der Regressionsanalyse für die mittleren Leistungen, welche über die Leistungsdifferenz-Zeit-Beziehung durchgeführt wurden, ist kein eindeutiger Trend zu finden. So weist beispielsweise der Pb. 05 erst eine fallende und ab dem 3. Test eine steigende Differenz über die zwei Minuten Testdauer auf. Für den Pb. 09 ist diese Tendenz ab dem 2. Test fallend. Beim Pb. 18 (Testgruppe) verändert sich die zeitliche Seitendifferenz (über die 2minütige Testdauer) der mittleren Leistung von steigend auf fallend (bei positiven abs. Differenzen) schon beim 2. Test und bleibt stabil bis zum 4. Alle Werte können der Tab. A 22 sowie der Tab. A 33 im Anhang entnommen werden.

Gruppenvergleiche

Die Gesamtleistung, die sich aus der Summe der Leistungen der beiden Seiten ergibt, steigt von der 1. zur 2. Messung bei beiden Gruppen an, wie in der Abb. 44 zu sehen ist. Die Unterschiede zeigen eine Signifikanz von $p = 0,0028$ für die Test- und eine von $p = 0,0446$ für die Kontrollgruppe. Alle anderen Unterschiede zwischen den Messungen zeigen keine statistische Signifikanz. Zwei Tendenzen sind noch zu erwähnen: eine für den Vergleich 1. und 3. Messung bei der Testgruppe ($p = 0,0587$) und eine bei der Kontrollgruppe beim Vergleich 2. und 4. Messung ($p = 0,0729$).

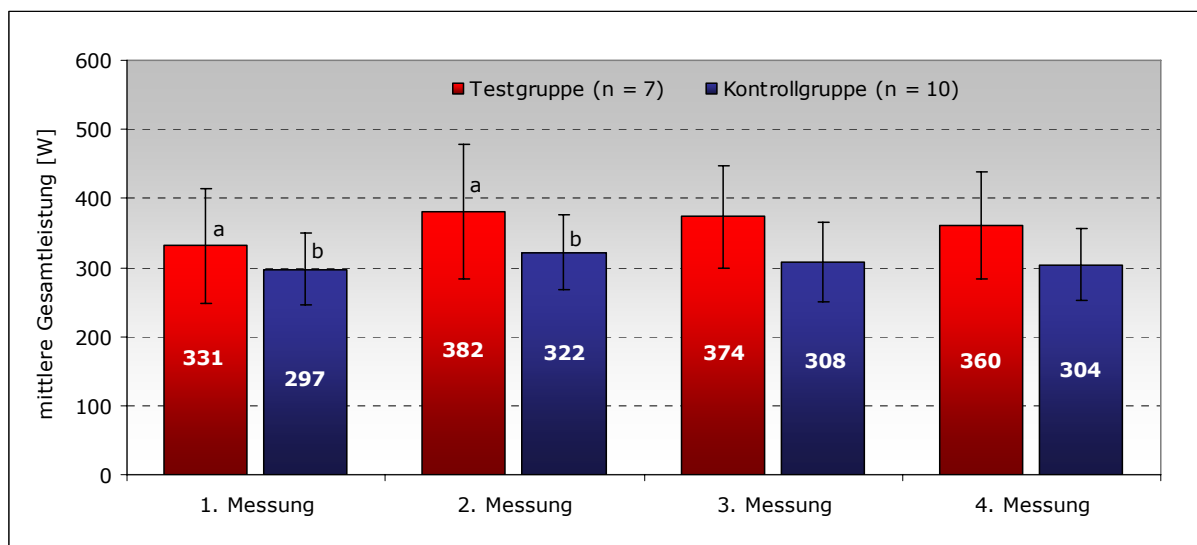


Abb. 44: Die Gesamtleistungen (Mw. \pm SD.) der Test- ($n = 7$) sowie für die Kontrollgruppe ($n = 10$) für die 4 Messungen; a und b - signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

Bei den Vergleichen der Gesamtleistungen zwischen den Gruppen (Test- vs. Kontrollgruppe) für die vier Messungen sind die Differenzen nicht signifikant. Bei der 3. Messung (Endtest) ist eine Tendenz bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,0569$ festzustellen. Alle p-Werte können der Tab. A 38 im Anhang entnommen werden.

Tab. 50: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der mittleren Leistungen der Test- ($n = 7$) sowie der Kontrollgruppe ($n = 10$)

Differenzen der mittleren Leistungen					
Gruppe	Diff.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
T	abs. [W]	14,5 \pm 7,6	16,7 \pm 12,8	18,4 \pm 9,5	14,6 \pm 8,3
	proz. [%]	8,3 \pm 4,0	8,2 \pm 6,1	9,2 \pm 4,5	7,4 \pm 3,5
K	abs. [W]	5,9 \pm 4,4	8,4 \pm 4,1	9,6 \pm 6,6	9,0 \pm 7,2
	proz. [%]	3,8 \pm 2,6	5,4 \pm 3,4	6,0 \pm 4,2	5,8 \pm 4,8

In der Tabelle (Tab. 50) sind die gemittelten Seitenunterschiede (absolute und prozentuale) für die beiden Gruppen dargestellt. Statistisch auffällig beim Vergleich der Testgruppe (T) mit der Kontrollgruppe (K) sind die Unterschiede der absoluten Differenzen bei der mittleren Leistung (P_{mit}) bei der 1. und 3. Messung. Die zwei

Unterschiede zeigen einen Signifikanz von $p < 0,05$ (1.: $p = 0,0093$; 3.: $p = 0,0384$). Eine Tendenz ist bei der 2. Messung mit einem p von 0,0699 zu finden.

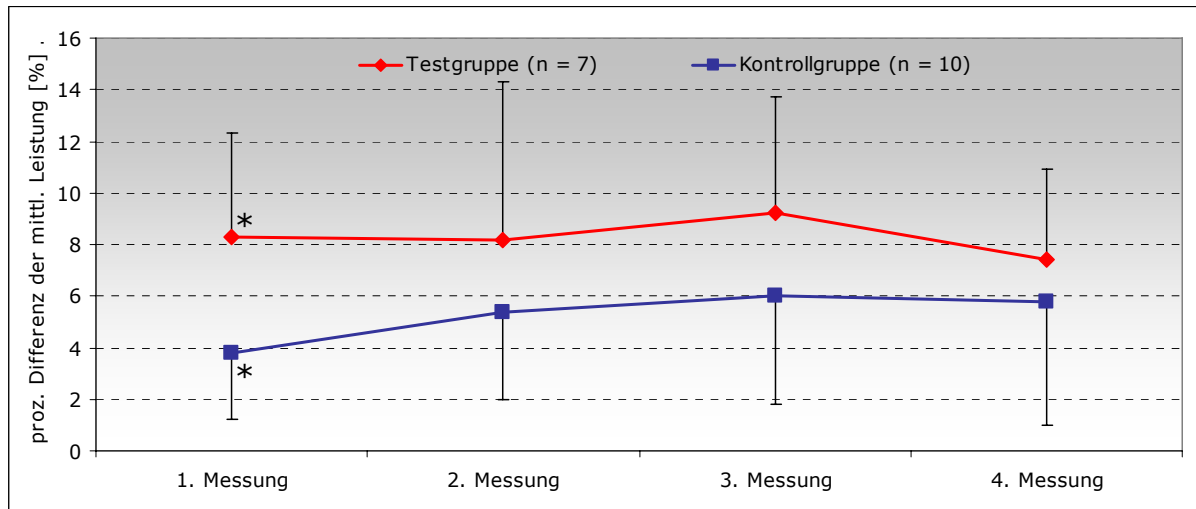


Abb. 45: Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die mittlere Leistung von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- ($n = 7$) und Kontrollgruppe ($n = 10$), * = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

In Abb. 45 sind die Verläufe der prozentualen Differenzen der beiden Gruppen graphisch dargestellt. Wie dort zu sehen ist, zeigt nur der Unterschied bei der 1. Messung eine Signifikanz ($p = 0,0133$). Bei allen anderen Unterschieden sind weder signifikante noch tendenzielle Unterschiede nachzuweisen.

Alle p -Werte der Signifikanztests für die Differenzunterschiede können der Tab. A 39 sowie der Tab. A 40 im Anhang entnommen werden.

6.2.2.3 Mittlere Kraft

Einzelfallanalyse

Für die mittlere Kraft (F_{mit}) sind die Beträge der prozentualen Differenzen der beiden Seiten für alle Probanden in der Tab. 51 zusammenfassend dargestellt. Eine ausführliche Darlegung der erreichten Werte und der Ergebnisse (absolute und prozentuale Differenzen, Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten) ist im Anhang (Tab. A 18, Tab. A 23, Tab. A 29 und Tab. A 34) zu finden.

Bei der mittleren Kraft findet sich ein ähnliches Bild wie bei der mittleren Leistung. Die sieben Probanden der Testgruppe zeigen keine einheitliche Veränderung. Bleiben bei der Testgruppe die Probanden 01 und 21 außer Betracht, dann findet sich eine Vergrößerung der prozentualen Unterschiede in der mittleren Kraft. Auch die 10 Probanden der Kontrollgruppe zeigen bei der mittleren Kraft einen differenten Verlauf. Während sich bei den Probanden 03, 04 (nur gering), 07, 12, 14 und 17 die Differenzen vergrößern,

verringern sich diese bei den Probanden 10 und 13. Bei den Probanden 15 und 16 schwanken diese um den Ausgangswert.

Tab. 51: Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die mittlere Kraft der 4 Tests von allen Probanden

Pb.	Gruppe	prozentuale Differenzen der mittleren Kraft [%]			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
01	T	8,5 \pm 3,7	7,0 \pm 2,8	5,8 \pm 2,6	4,0 \pm 2,5
03	K	2,8 \pm 5,1	6,0 \pm 4,2	4,2 \pm 4,7	7,4 \pm 4,7
04	K	2,5 \pm 5,6	5,5 \pm 6,5	4,3 \pm 5,9	4,8 \pm 5,3
05	T	5,7 \pm 3,8	9,4 \pm 4,6	8,8 \pm 5,2	7,4 \pm 5,1
07	K	3,2 \pm 5,9	10,8 \pm 4,9	10,0 \pm 5,1	7,5 \pm 4,9
09	T	5,5 \pm 3,1	12,3 \pm 2,9	8,4 \pm 4,5	6,9 \pm 3,0
10	K	6,3 \pm 3,9	7,0 \pm 4,0	4,0 \pm 3,7	1,3 \pm 2,9
12	K	3,0 \pm 5,9	5,9 \pm 5,1	9,4 \pm 5,0	8,1 \pm 5,5
13	K	6,1 \pm 5,3	0,3 \pm 4,0	3,7 \pm 3,1	1,1 \pm 3,7
14	K	2,5 \pm 3,2	3,5 \pm 3,5	6,0 \pm 3,6	6,0 \pm 3,9
15	K	6,4 \pm 4,2	5,7 \pm 3,4	6,9 \pm 3,9	8,1 \pm 3,5
16	K	0,9 \pm 4,0	4,0 \pm 4,6	1,1 \pm 4,9	1,3 \pm 4,3
17	K	1,4 \pm 4,0	2,6 \pm 3,1	3,8 \pm 3,4	4,7 \pm 4,1
18	T	5,1 \pm 3,1	7,1 \pm 2,3	8,2 \pm 2,5	8,6 \pm 5,6
19	T	2,3 \pm 3,6	4,3 \pm 3,4	4,8 \pm 3,1	4,8 \pm 6,8
21	T	9,6 \pm 4,7	1,9 \pm 5,7	8,1 \pm 3,7	4,8 \pm 4,5
22	T	1,9 \pm 10,8	3,0 \pm 5,0	4,2 \pm 4,0	7,3 \pm 3,8

Bei der Untersuchung des Zusammenhanges der mittleren Kraft zwischen linker und rechter Seite fällt die Entwicklung des Korrelationskoeffizienten für die Probanden der Testgruppe im Vergleich zu der der Kontrollgruppe auf. Während der Korrelationskoeffizient über die vier Messungen bei der Kontrollgruppe relativ stabil bleibt, steigt dieser bei allen sieben Probanden der Testgruppe bis zur 3. Messung an und fällt dann teilweise geringfügig in der 4. Messung (siehe Tab. A 23 und Tab. A 34 im Anhang). Die Probanden 01, 09, 18 und 19 erreichten in der dritten Messung sogar Korrelationswerte von $r > 0,9$. Bei der Kontrollgruppe sind nur Proband 13 und 17 auffällig. Pb. 13 zeigt eine Erhöhung der Korrelation von $r = 0,6188$ (1. Messung) zu $r = 0,9394$ (3. Messung). Diese sehr hohe Korrelation konnte er in der 4. Messung halten mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,9068$. Pb. 17 erreicht schon in der Ausgangsmessung einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,9410$, der aber über die weiteren drei Messungen bis auf $r = 0,7477$ kontinuierlich abfällt.

Bei den Regressionskoeffizienten der sieben Probanden der Testgruppe ist kein Trend zu erkennen. Bei Pb. 01 steigen, bei Pb. 05 fallen und dann steigen sowie bei Pb. 09 steigen und dann fallen die Differenzen der beiden Seiten während der 2minütigen Kraftausdauertests. Beim Pb. 18 verändert sich die zeitliche Seitendifferenz (über die 2minütige Testdauer) der mittleren Kraft von steigend auf fallend (bei positiven abs. Differenzen) schon beim 2. Test und bleibt stabil bis zum 4. (1. Test: $b = 0,0308$; 2. Test: $b = -0,0320$; 3. Test: $b = -0,0146$ und 4. Test: $b = -0,0757$). Bei den Regressionskoeffizienten der Probanden der Kontrollgruppe sind keine Auffälligkeiten zu finden. Die Probanden 04, 12 und 15 weisen gleich bleibende Differenzveränderungen

während der Tests auf, bei den Probanden 03, 13, 14, 16 und 17 verändert sich die Richtung (von steigender zur fallender oder von fallender zu steigender Differenz). Die anderen beiden Probanden (07 und 10) zeigen keinen Trend. Alle Werte können der Tab. A 23 sowie der Tab. A 34 im Anhang entnommen werden.

Gruppen- und Testvergleiche

Die erreichten Kraftwerte beider Gruppen für die vier Messungen sind in Abb. 46 dargestellt. Bei der Analyse der Kraftunterschiede (mittlere Kraft) beider Gruppen sind einzelne signifikante Unterschiede nachzuweisen. So sind die mittleren Kraftwerte der Testgruppe von der 2., 3. und 4. Messung im Vergleich zur 1. signifikant größer ($p < 0,05$). Bei der Kontrollgruppe zeigt der Wert der 2. Messung im Vergleich zur 1. einen signifikant höheren Wert. Die mittlere Kraft beim Nachtest (4. Messung) ist bei der Kontrollgruppe signifikant geringer als der Wert der 2. Messung.

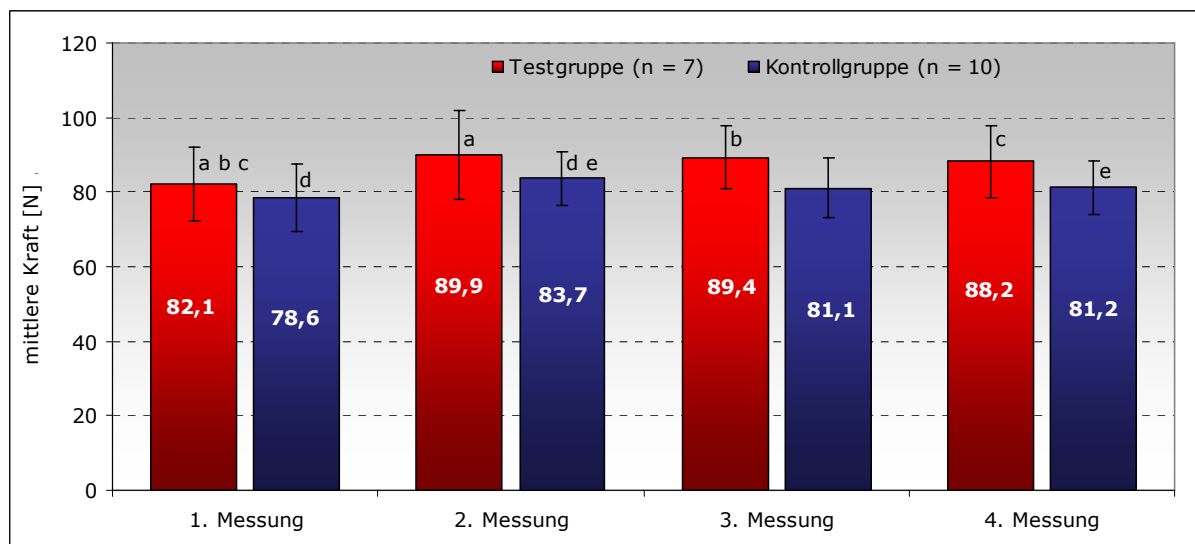


Abb. 46: Mittlere Kräfte (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10) für die 4 Messungen; a - e = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

Beim Vergleich der erreichten mittleren Kraft zwischen der Test- und der Kontrollgruppe, ist lediglich eine Tendenz beim Endtest (3. Mess.) festzustellen. Die Testgruppe zeigt hier tendenziell eine größere mittlere Kraft als die Kontrollgruppe ($p = 0,0599$). Die anderen drei Vergleiche ergeben keinen statistischen Unterschied (siehe Tab. A 38 im Anhang).

Werden die gemittelten absoluten und prozentualen Differenzen (siehe Tab. 52) statistisch untersucht, so ist bei der absoluten Differenz bei der 3. Messung eine Tendenz nachzuweisen. So zeigt die Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe tendenziell eine größere Differenz ($p = 0,0762$). Des Weiteren ist bei der Testgruppe bei der 3. Messung eine tendenziell größere absolute Differenz im Vergleich zur 1. nachzuweisen ($p = 0,0624$).

Tab. 52: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der mittleren Kräfte der Test- ($n = 7$) sowie der Kontrollgruppe ($n = 10$)

Differenzen der mittleren Kräfte									
Gruppe	Diff.	1. Messung		2. Messung		3. Messung		4. Messung	
T	abs. [N]	4,8 \pm	2,5	6,1 \pm	3,6	6,7 \pm	2,3	5,8 \pm	1,9
	proz. [%]	5,5 \pm	2,9	6,4 \pm	3,7	7,2 \pm	2,2	6,3 \pm	1,7
K	abs. [N]	3,4 \pm	2,2	4,3 \pm	2,2	4,5 \pm	2,4	4,2 \pm	2,4
	proz. [%]	4,0 \pm	2,3	5,1 \pm	2,8	5,4 \pm	2,8	5,0 \pm	1,9

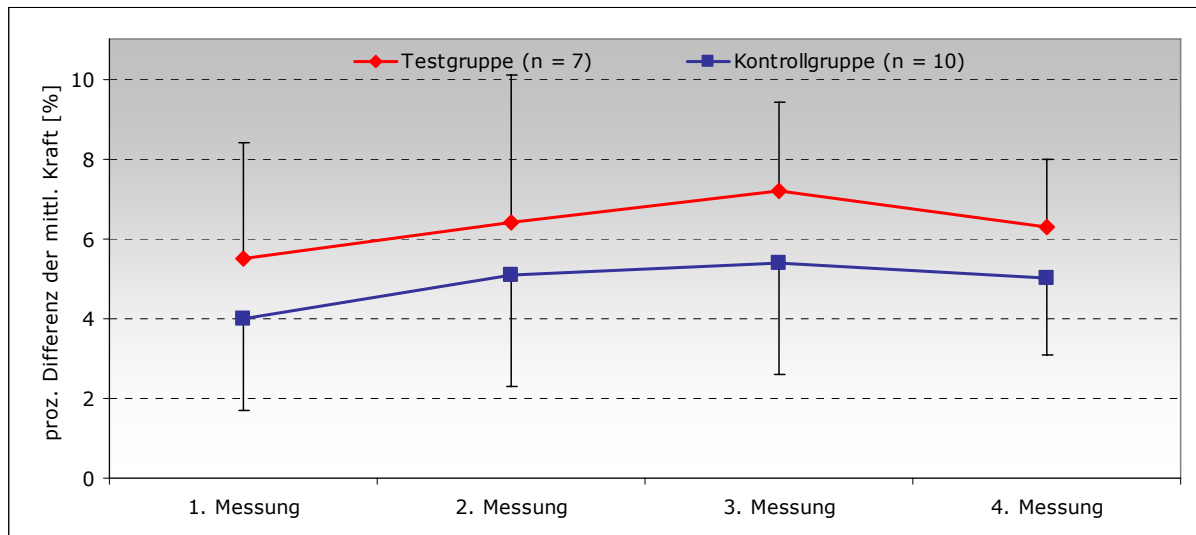


Abb. 47: Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die mittlere Kraft von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- ($n = 7$) und Kontrollgruppe ($n = 10$), keine signifikanten Unterschiede

In Abb. 47 sind die prozentualen Differenzen beider Gruppen über die vier Messungen graphisch dargestellt. Bei beiden Gruppen vergrößert sich die Differenz bis zur 3. Messung und fällt zur 4. hin wieder leicht ab. Alle Unterschiede bei der prozentualen Differenz sind nicht signifikant und zeigen auch keine Tendenz. Die p-Werte der Signifikanztests für die Mittelwertsvergleiche der Differenzen können dem Anhang (Tab. A 39 sowie Tab. A 40) entnommen werden.

6.2.2.4 Maximale Kraft

Einzelfallanalyse

Für die maximale Kraft (F_{\max}) sind die Beträge der prozentualen Differenzen der beiden Seiten für alle Probanden in der Tab. 53 zusammenfassend dargestellt. Im Anhang (Tab. A 19, Tab. A 24, Tab. A 30 und Tab. A 35) sind ausführliche Darlegung der erreichten Werte und der Ergebnisse (absolute und prozentuale Differenzen, Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten) zu finden.

Wie schon bei der mittleren Leistung und der mittleren Kraft zeigen die Probanden der Testgruppe sowie der Kontrollgruppe sehr unterschiedliche Verläufe. Während bei den

Probanden 01, 03 und 12 ein Abfall der prozentualen Differenz über die vier Messungen zu beobachten und bei Pb. 05 eine relative Konstanz vorzufinden ist, steigt bei Pb. 09 sowie 18 die prozentuale Differenz in der 2. und 3. Messung (siehe Tab. 53). Erst beim Nachtest (4. Messung) kann beim Pb. 09 eine Verringerung gefunden werden.

Tab. 53: Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die maximale Kraft der 4 Tests von allen Probanden

Pb.	Gruppe	prozentuale Differenzen der maximalen Kraft [%]			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
01	T	9,7 \pm 4,6	9,9 \pm 4,6	5,4 \pm 4,1	1,5 \pm 4,8
03	K	7,2 \pm 5,6	9,7 \pm 6,4	6,8 \pm 7,1	10,8 \pm 7,0
04	K	7,5 \pm 6,1	9,8 \pm 6,4	11,1 \pm 8,1	2,8 \pm 7,4
05	T	1,6 \pm 7,1	2,5 \pm 10,0	1,6 \pm 8,7	3,5 \pm 8,0
07	K	11,3 \pm 6,5	10,7 \pm 11,2	8,5 \pm 8,8	5,0 \pm 7,9
09	T	5,7 \pm 5,1	11,7 \pm 4,8	10,2 \pm 2,1	3,2 \pm 5,7
10	K	9,1 \pm 4,0	9,1 \pm 5,4	3,8 \pm 4,9	0,3 \pm 4,2
12	K	4,5 \pm 9,2	6,7 \pm 7,9	15,1 \pm 8,9	13,6 \pm 6,2
13	K	8,9 \pm 5,5	2,2 \pm 6,1	1,8 \pm 5,4	6,5 \pm 5,8
14	K	2,2 \pm 4,9	1,5 \pm 4,6	4,4 \pm 4,5	6,1 \pm 4,9
15	K	0,6 \pm 8,0	1,9 \pm 9,0	7,0 \pm 9,9	7,1 \pm 7,3
16	K	5,1 \pm 5,1	5,2 \pm 6,8	8,0 \pm 7,0	2,3 \pm 9,1
17	K	1,4 \pm 5,6	11,7 \pm 5,6	9,1 \pm 5,2	10,8 \pm 7,8
18	T	6,7 \pm 5,1	6,7 \pm 3,3	8,5 \pm 4,0	8,2 \pm 5,4
19	T	6,7 \pm 6,1	3,2 \pm 6,8	2,0 \pm 5,4	1,2 \pm 7,8
21	T	3,7 \pm 7,5	2,5 \pm 10,0	1,4 \pm 7,2	0,8 \pm 6,9
22	T	4,5 \pm 6,1	0,7 \pm 5,2	7,7 \pm 6,1	3,4 \pm 7,0

Die prozentualen Differenzen der Probanden aus der Kontrollgruppe zeigen ebenfalls keine Tendenz. Während sich bei Pb. 07 und 10 die Differenzen verringern, vergrößern sich diese bei den Pb. 03, 12, 14, 15 und 17. Proband 04 sowie Pb. 16 zeigen bis zur 3. Messung eine Vergrößerung und in der 4. eine Differenz, die nahe null liegt, wohingegen die Probanden 12 und 13 in den Messungen 2 und 3 sehr geringe prozentuale Differenzen aufweisen und in der 4. Messung den hohen Ausgangswert fast wieder erreichen.

Bei der Untersuchung des Zusammenhanges der maximalen Kraft zwischen linker und rechter Seite fallen die Entwicklungen der Korrelationskoeffizienten der Probanden 13 und 14 aus der Kontrollgruppe und die der Probanden 01, 09, 18, 19 und 22 aus der Testgruppe auf. Bei diesen Probanden steigen die Korrelationskoeffizienten von der 1. bis zur 3. Messung. Die Probanden 13, 18 und 22 konnten ihre hohe Korrelation auch in der vierten Messung halten (Pb. 13: 3. Mess. $r = 0,8512$; 4. Mess. $r = 0,8248$; Pb. 18: 3. Mess. $r = 0,8613$; 4. Mess. $r = 0,8634$; Pb. 22: 3. Mess. $r = 0,8706$; 4. Mess. $r = 0,8350$).

Bei der Regressionsanalyse sind keine Auffälligkeiten bei den Probanden der Kontroll- sowie der Testgruppe zu finden. Die negativen Regressionskoeffizienten im Zusammenhang mit den positiven abs. Differenzen weisen auf eine fallende Differenz während der 2 Minuten Testdauer. Alle Ergebnisse können der Tab. A 24 sowie der Tab. A 35 im Anhang entnommen werden.

Gruppen- und Testvergleich

Wie bei der mittleren Kraft sind auch bei der maximalen Kraft signifikant größere Werte bei der Testgruppe für die 2., 3. und 4. Messung im Vergleich zur 1. nachzuweisen. Bei der Kontrollgruppe ist lediglich eine tendenzielle Vergrößerung der maximalen Kraft von der 1. zur 2. Messung festzustellen ($p = 0,0778$). Alle Werte können der Abb. 48 entnommen werden.

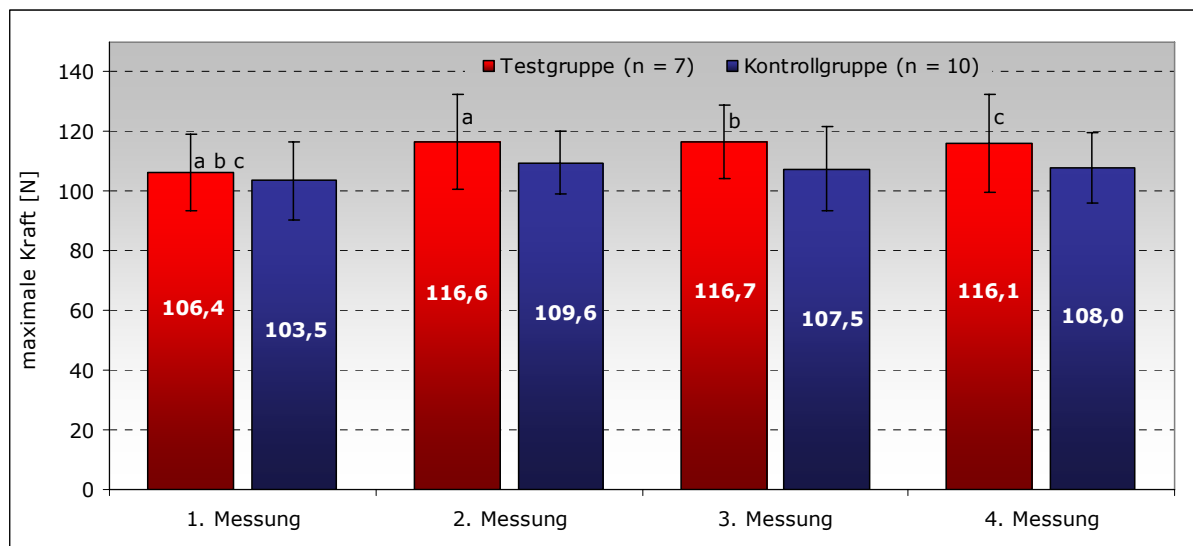


Abb. 48: Maximale Kräfte (Mw. ± SD.) der Test- ($n = 7$) sowie für der Kontrollgruppe ($n = 10$) für die 4 Messungen; a - c = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

Beim Gruppenvergleich (Test- vs. Kontrollgruppe) für die erreichten maximalen Kräfte sind keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen. Alle p -Werte liegen bei einem Niveau von $p > 0,18$ (siehe Tab. A 38 im Anhang).

Tab. 54: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. ± SD.) der maximalen Kräfte der Test- ($n = 7$) sowie der Kontrollgruppe ($n = 10$)

Differenzen der maximalen Kräfte					
Gruppe	Diff.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
T	abs. [N]	5,9 ± 2,9	6,4 ± 5,2	6,0 ± 4,0	3,8 ± 3,2
	proz. [%]	5,5 ± 2,6	5,3 ± 4,2	5,0 ± 3,3	3,1 ± 2,5
K	abs. [N]	5,0 ± 3,4	7,6 ± 4,4	8,2 ± 4,0	7,4 ± 4,7
	proz. [%]	5,4 ± 3,6	6,9 ± 3,9	7,6 ± 3,8	6,5 ± 4,2

Werden die absoluten und prozentualen Differenzen der maximalen Kraft statistisch auf signifikante Unterschiede untersucht (siehe Tab. 54), so lässt sich nur eine Tendenz bei der prozentualen Differenz bei der 4. Messung nachweisen. Die Testgruppe zeigt hier eine tendenzielle niedrigere prozentuale Differenz als die Kontrollgruppe ($p = 0,0755$), wie auch in Abb. 49 zusehen ist.

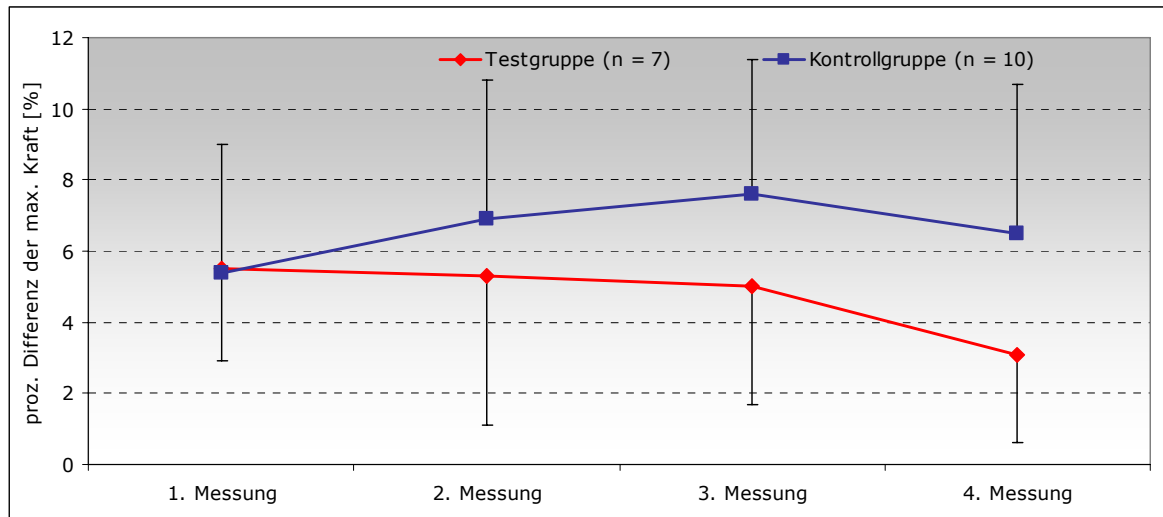


Abb. 49: Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die max. Kraft von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10), keine signifikanten Unterschiede

Anzumerken ist noch, dass im Verlauf über die vier Messung die prozentualen Differenzen bei der Testgruppe kleiner werden und bei der Kontrollgruppe ein Anstieg zu verzeichnen ist (siehe Abb. 49).

6.2.2.5 Zugwege

Einzelfallanalyse

Die Beträge der prozentualen Differenzen der gemessenen Zugwege (s) für alle Probanden sind in der Tab. 55 zusammenfassend dargestellt. Eine ausführliche Darlegung der erreichten Werte und Ergebnisse (absolute und prozentuale Differenzen, Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten) sind im Anhang (Tab. A 20, Tab. A 25, Tab. A 31 und Tab. A 36) zu finden.

Bei allen Probanden der Kontrollgruppe sind keine Veränderungen von der 1. bis zur 4. Messung festzustellen bzw. sind diese so gering, dass sie nicht bedeutend sind. Nur bei den Probanden der Testgruppe sind die Verringerungen auffällig. So konnte Pb. 01 die proz. Differenz von 2,1 auf 0,5 %, Pb. 05 von 5,0 auf 2,5 %, und Pb. 09 von 4,1 auf 0,2 % verringern (siehe Tab. 55). Beim Probanden 22 (ebenfalls Testgruppe) sind die Verringerungen von der 1. zur 3. Messung auffällig. So konnte er die proz. Differenz von 6,4 auf 0,8 % verringern, welche aber in der 4. Messung wieder auf 5,6 % anstieg.

Die Korrelationsmaße zwischen linker und rechter Seite schwanken bei fast allen Probanden zwischen 0,1 und 0,6. Eine Tendenz ist nur beim Pb. 13 zu finden, bei dem der Korrelationskoeffizient von $r = 0,3287$ auf $r = 0,8450$ (1. – 4. Messung) stetig steigt. Die proz. Differenzen liegen bei diesem Probanden auf einem relativ stabilen Niveau.

Tab. 55: Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für den Zugweg der 4 Tests von allen Probanden

Pb.	Gruppe	prozentuale Differenzen des Zugweges [%]			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
01	T	2,1 \pm 2,5	0,2 \pm 2,1	0,8 \pm 2,0	0,5 \pm 2,1
03	K	3,3 \pm 2,3	3,9 \pm 2,5	2,1 \pm 3,0	2,4 \pm 2,3
04	K	1,5 \pm 1,5	0,4 \pm 2,0	0,2 \pm 2,1	1,0 \pm 2,4
05	T	5,0 \pm 2,7	3,2 \pm 2,6	3,2 \pm 3,7	2,5 \pm 3,0
07	K	1,7 \pm 3,4	3,3 \pm 2,8	2,0 \pm 2,8	1,3 \pm 2,6
09	T	4,1 \pm 3,3	2,3 \pm 1,8	0,2 \pm 1,7	0,2 \pm 1,5
10	K	2,5 \pm 2,1	2,1 \pm 2,3	1,7 \pm 2,5	2,0 \pm 2,2
12	K	1,4 \pm 3,7	0,6 \pm 4,6	2,7 \pm 4,6	0,1 \pm 4,8
13	K	2,5 \pm 3,1	3,7 \pm 3,8	2,7 \pm 3,5	2,5 \pm 2,5
14	K	0,2 \pm 3,3	1,3 \pm 3,2	1,4 \pm 2,3	1,0 \pm 2,5
15	K	2,5 \pm 3,8	2,8 \pm 2,8	1,9 \pm 3,5	0,8 \pm 2,9
16	K	0,5 \pm 2,2	1,1 \pm 1,6	2,2 \pm 2,4	1,0 \pm 2,6
17	K	0,6 \pm 2,1	1,8 \pm 2,1	0,4 \pm 2,3	0,6 \pm 2,7
18	T	1,8 \pm 1,4	1,7 \pm 1,8	1,6 \pm 1,8	1,6 \pm 1,8
19	T	2,9 \pm 1,9	2,0 \pm 2,3	3,4 \pm 2,8	4,1 \pm 2,7
21	T	2,1 \pm 4,0	0,3 \pm 3,6	0,7 \pm 2,6	0,1 \pm 2,5
22	T	6,4 \pm 2,2	4,5 \pm 3,7	0,8 \pm 2,1	5,6 \pm 3,6

Bei den Veränderungen der Differenzen während der 2minütigen Tests, was über den Regressionskoeffizienten ausgedrückt wird, ist keine Auffälligkeit zu finden (siehe Tab. A 25 und Tab. A 36 im Anhang).

Gruppen- und Testvergleiche

Beim Vergleich der Zugwege zwischen den beiden Gruppen sowie zwischen den einzelnen Tests sind folgende Unterschiede signifikant: Bei der Testgruppe ist der Zugweg bei der 4. Messung signifikant geringer als bei der 3. ($p = 0,0109$). Die Probanden der Testgruppe ziehen bei der 2. sowie bei der 3. Messung signifikant weiter als die der Kontrollgruppe ($p = 0,0421$ und $p = 0,0307$), wie in Abb. 50 zu sehen ist.

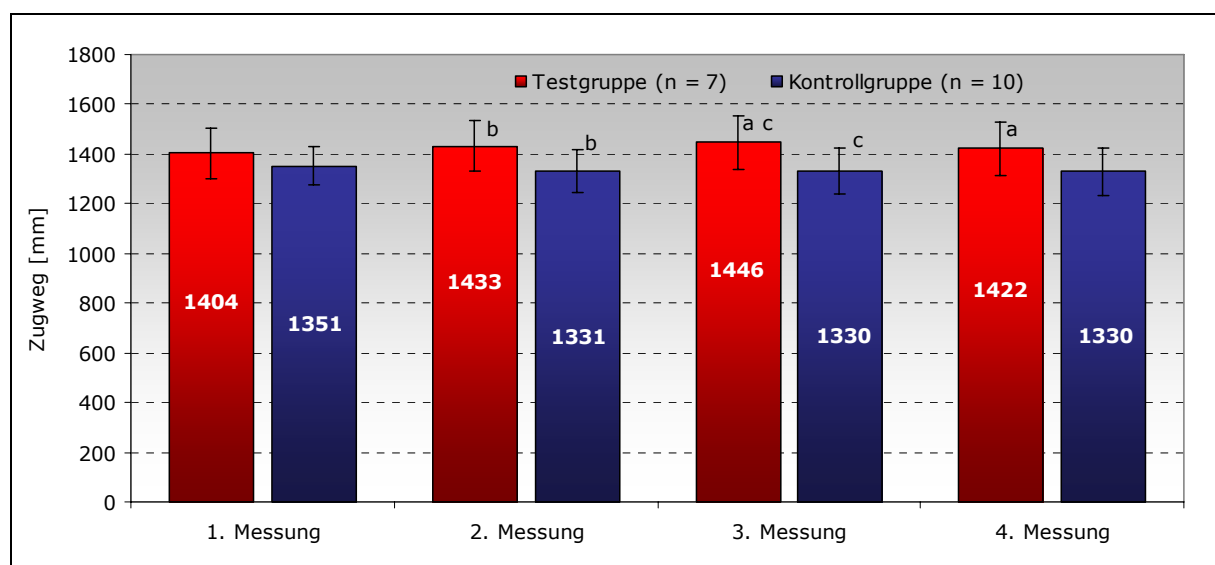


Abb. 50: Zugwege (Mw. \pm SD.) der Test- ($n = 7$) sowie für die Kontrollgruppe ($n = 10$) für die vier Messungen; a - c = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

In Tab. 56 sind die Werte der absoluten sowie der prozentualen Differenzen für die Zugwege dargestellt und in Abb. 51 sind die prozentualen Differenzen graphisch abgebildet.

Tab. 56: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der Zugwege der Test- ($n = 7$) sowie der Kontrollgruppe ($n = 10$)

Differenzen der Zugwege					
Gruppe	Diff.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
T	abs. [mm]	48,7 \pm 23,2	27,9 \pm 19,9	21,4 \pm 17,0	27,4 \pm 26,6
	proz. [%]	3,5 \pm 1,7	2,0 \pm 1,5	1,5 \pm 1,3	2,1 \pm 2,1
K	abs. [mm]	22,6 \pm 14,6	27,8 \pm 17,0	23,3 \pm 11,4	17,1 \pm 10,8
	proz. [%]	1,7 \pm 1,0	2,1 \pm 1,3	1,7 \pm 0,9	1,3 \pm 0,8

Werden die Unterschiede bei den absoluten und prozentualen Differenzen statistisch überprüft, sind die absolute sowie die prozentuale Differenz der Kontrollgruppe bei der 1. Messung signifikant geringer im Vergleich zur Testgruppe (abs.: $p = 0,0121$ und proz. $p = 0,0161$).

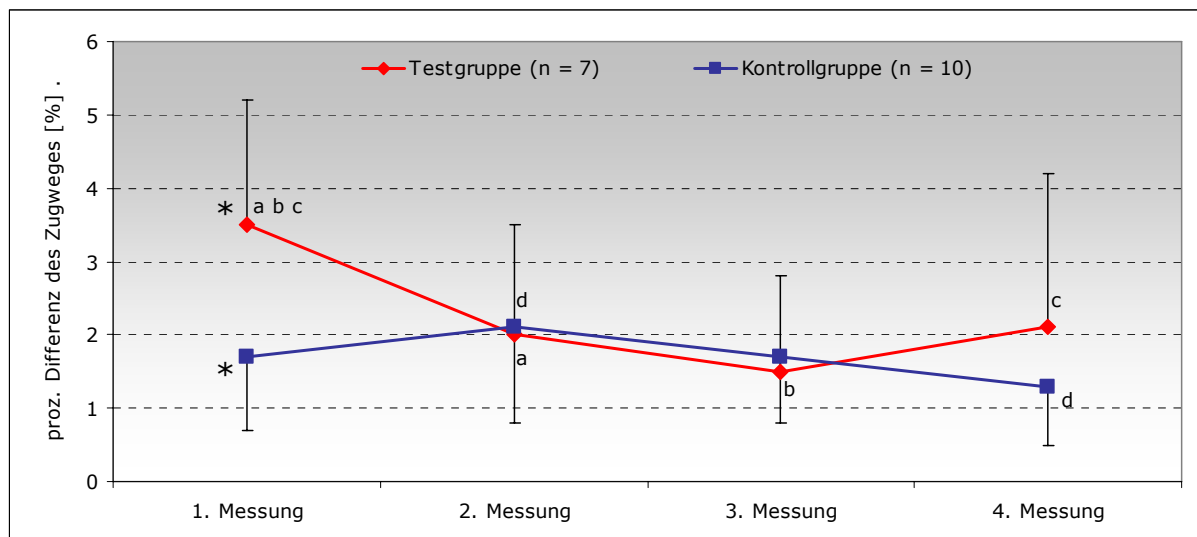


Abb. 51: Verlauf der proz. Differenzen (Mw. und SD.) für die Zugwege von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- ($n = 7$) und Kontrollgruppe ($n = 10$), * und a – d = signifikante Unterschiede ($p < 0,05$)

Beim Vergleich der Messungen innerhalb der Gruppen sind bei der Testgruppe signifikant geringere absolute sowie prozentuale Differenzen bei der 2., 3. und 4. Messung im Vergleich zur 1. zu finden (abs.: 1. vs. 2. $p = 0,0024$; 1. vs. 3. $p = 0,0443$; 1. vs. 4. $p = 0,0351$; proz.: 1. vs. 2. $p = 0,0014$; 1. vs. 3. $p = 0,0502$; 1. vs. 4. $p = 0,0664$). Die Kontrollgruppe zeigt bei der 4. Messung eine signifikant geringere absolute sowie prozentuale Differenz im Vergleich zur 2., wie auch in Abb. 51 zu sehen ist (abs.: $p = 0,0139$; proz.: $p = 0,0153$).

6.2.2.6 Zugzeiten

Einzelfallanalyse

Die Werte der prozentualen Differenzen der gemessenen Zugzeiten (t) für alle Probanden sind in der Tab. 57 zusammenfassend dargestellt. Die ausführliche Dargelegt der erreichten Werte und der Ergebnisse (absolute und prozentuale Differenzen, Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten) sind im Anhang (Tab. A 21, Tab. A 26, Tab. A 32 und Tab. A 37) zu finden.

Die prozentualen Differenzen bei der Zugzeit sind für alle Probanden und für alle Messungen unter 6,5 %. Einzige Ausnahme: Proband 07 weist in der 2. Messung eine prozentuale Differenz von 9,4 % auf. Hervorzuheben sind die Ergebnisse des Pb. 01. Bei ihm liegen alle prozentualen Differenzen unter 1,0 % (der Wert bei der 4. Messung ist der gerundete von 0,9727 %). Die absoluten Differenzen liegen bei diesem Probanden bei allen vier Messungen unter 10 ms (siehe Tab. A 26 im Anhang).

Tab. 57: Prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) für die Zugzeit der 4 Tests von allen Probanden

Pb.	Gruppe	prozentuale Differenz der Zugzeit [%]			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
01	T	0,2 \pm 3,2	0,2 \pm 3,7	0,5 \pm 2,9	1,0 \pm 3,0
03	K	2,7 \pm 9,9	2,4 \pm 5,9	0,4 \pm 5,0	4,0 \pm 5,1
04	K	3,1 \pm 5,3	3,6 \pm 4,7	0,6 \pm 9,7	3,7 \pm 4,0
05	T	3,1 \pm 4,5	0,1 \pm 4,3	1,7 \pm 6,0	1,4 \pm 5,6
07	K	1,1 \pm 5,4	9,4 \pm 5,6	5,0 \pm 5,9	4,7 \pm 5,4
09	T	1,5 \pm 3,9	5,0 \pm 3,5	5,1 \pm 4,0	5,0 \pm 3,6
10	K	0,8 \pm 3,9	1,8 \pm 3,8	2,9 \pm 4,0	3,0 \pm 3,8
12	K	0,3 \pm 4,4	0,4 \pm 4,2	2,8 \pm 4,6	5,1 \pm 5,6
13	K	2,2 \pm 4,7	5,2 \pm 3,7	2,8 \pm 3,5	3,6 \pm 3,7
14	K	2,0 \pm 3,3	0,0 \pm 3,2	1,2 \pm 4,0	0,7 \pm 3,4
15	K	5,9 \pm 3,6	4,1 \pm 3,5	3,5 \pm 4,4	4,4 \pm 4,4
16	K	0,5 \pm 3,8	2,3 \pm 4,3	1,3 \pm 4,8	2,2 \pm 6,0
17	K	2,5 \pm 4,1	0,7 \pm 3,4	0,7 \pm 4,4	0,4 \pm 4,3
18	T	2,6 \pm 3,2	4,4 \pm 2,5	5,0 \pm 3,4	4,3 \pm 3,3
19	T	2,8 \pm 4,6	6,3 \pm 3,9	4,0 \pm 3,4	3,4 \pm 3,9
21	T	5,8 \pm 5,7	0,6 \pm 5,4	3,9 \pm 3,1	0,5 \pm 5,2
22	T	5,6 \pm 4,3	6,4 \pm 3,5	2,0 \pm 3,6	6,1 \pm 4,5

Mit einer bis zur 4. Messung stetig steigenden Korrelation (zwischen linker und rechter Seite) bis zu einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,8692$ (4. Messung) sind nur die Ergebnisse des Pb. 01 auffällig. Alle anderen Probanden (aus der Test- sowie Kontrollgruppe) weisen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,1$ bis $0,7$ auf (siehe Tab. A 26 und Tab. A 37 im Anhang). Bei den restlichen Probanden der Kontrollgruppe sowie bei denen der Testgruppe sind bei der Korrelationsanalyse keine Auffälligkeiten zu erkennen.

Bei der Analyse der Regressionskoeffizienten ist weder bei den Probanden der Test- noch bei denen der Kontrollgruppe eine Besonderheit zu finden.

Gruppen- und Testvergleiche

Bei den Zugzeiten sind keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen. Die Verringerung der Zugzeit der Testgruppe von der 1. zur 2. Messung (von 812 ms auf 759 ms) zeigt lediglich ein Signifikanzniveau von $p = 0,1050$ (siehe Abb. 52). Für die Kontrollgruppe, die im selben Zeitraum (1. zur 2. Messung) auch eine Verringerung der Zugzeit dokumentiert, ist eine Tendenz nachzuweisen ($p = 0,0589$).

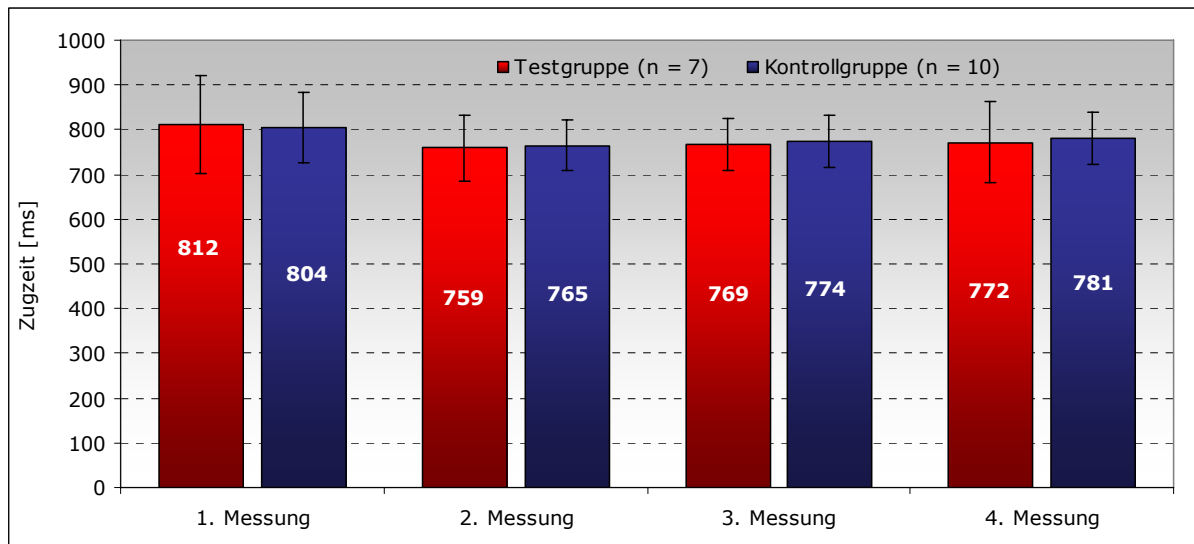


Abb. 52: Zugzeiten (Mw. ± SD.) der Test- ($n = 7$) sowie für die Kontrollgruppe ($n = 10$) für die 4 Messungen; keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)

In der untenstehenden Tabelle (Tab. 58) sind die Werte der absoluten sowie der prozentualen Differenzen für die Zugzeiten zu sehen. Werden die absoluten sowie die prozentualen Differenzen zwischen den Gruppen statistisch verglichen, so sind keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen.

Tab. 58: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. ± SD.) der Zugzeiten der Test- ($n = 7$) sowie der Kontrollgruppe ($n = 10$)

Differenzen der Zugzeiten					
Gruppe	Diff.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
T	abs. [ms]	25,6 ± 18,7	25,4 ± 22,6	24,0 ± 14,0	23,6 ± 16,6
	proz. [%]	3,1 ± 2,0	3,3 ± 2,9	3,2 ± 1,8	3,1 ± 2,2
K	abs. [ms]	16,7 ± 12,5	22,9 ± 22,6	16,1 ± 11,2	24,4 ± 12,4
	proz. [%]	2,1 ± 1,6	3,0 ± 2,8	2,1 ± 1,5	3,2 ± 1,6

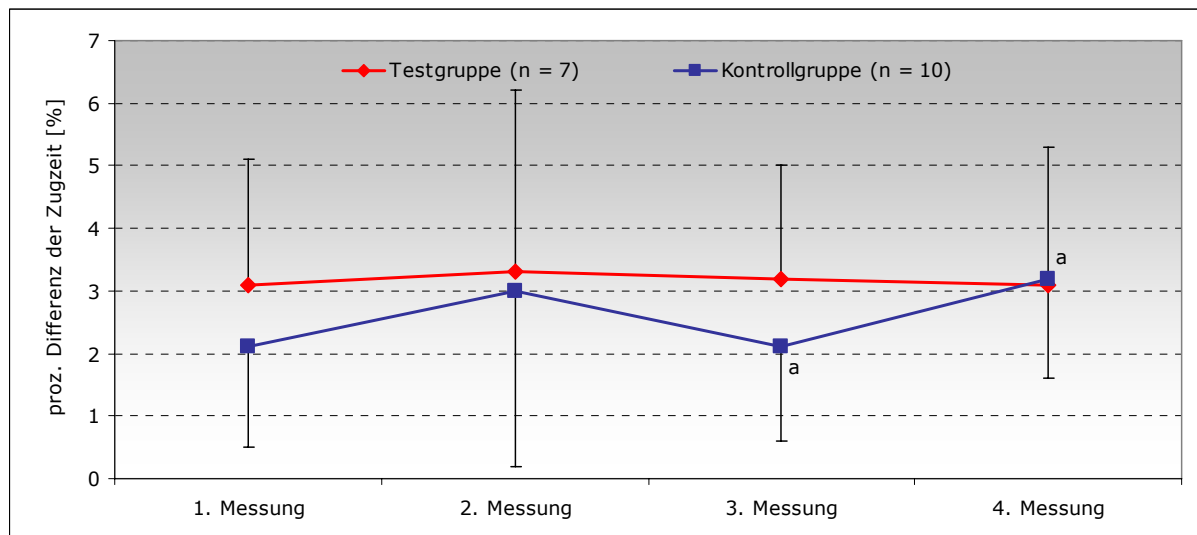


Abb. 53: Verlauf der prozentualen Differenzen (Mw. und SD.) für die Zugzeit von der 1. bis zur 4. Messung für die Test- (n = 7) und Kontrollgruppe (n = 10), a = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

Lediglich beim Vergleich der einzelnen Messungen innerhalb der Gruppen stellt sich eine Signifikanz dar: Bei der Kontrollgruppe vergrößern sich die absolute und die prozentuale Differenz von der 3. zur 4. Messung (Abb. 53), wobei nur die Veränderung der prozentualen signifikant ist (abs.: $p = 0,0553$; proz.: $p = 0,0480$).

In der folgenden Tabellen (Tab. 59) und in der in Tab. A 42 im Anhang werden die Zeiten bzw. die Seitendifferenzen der Zeiten von der vorderen Bewegungsumkehr bis zum Überschreiten des Schwellenwertes (auch als Beginn des Durchzuges definiert) dargestellt. Auf Seite 65 ist eine genaue Definition eines Zyklus und Durchzuges zu finden.

Tab. 59: Zeiten (Mw. \pm SD.) von vorderer Bewegungsumkehr bis Zugbeginn (t1) der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10)

Zeiten von vorderer Bewegungsumkehr bis Zugbeginn [ms]					
Gruppe	Seite.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
T	links	84,6 \pm 70,4	57,3 \pm 18,0	54,4 \pm 13,0	50,4 \pm 9,4
	rechts	71,0 \pm 36,1	48,2 \pm 10,5	44,7 \pm 6,7	44,4 \pm 6,1
K	links	71,2 \pm 39,6	60,7 \pm 26,6	62,2 \pm 30,9	56,2 \pm 15,2
	rechts	57,1 \pm 28,7	51,4 \pm 17,0	53,3 \pm 19,0	50,5 \pm 12,6

Auffällig sind die sich verkürzenden Zeiten von der 1. bis zur 4. Messung bei beiden Gruppen, welche bei keinem Vergleich eine Signifikanz zeigen. Es sind lediglich Tendenzen ($0,05 < p < 0,1$) in den Vergleichen bei der Testgruppe von 2., 3. und 4. Messung mit der 1. und bei der Kontrollgruppe von der 2. Messung mit der 1. zu konstatieren.

Bei den Seitendifferenzen, welche im Anhang in Tab. A 42 auf Seite 172 zu finden sind, können ausschließlich Tendenzen bei der Kontrollgruppe beim Vergleich der absoluten Differenzen der 1. Messung mit denen der 2., 3. und 4. Messung festgestellt werden.

6.2.2.7 Laktat vor und nach den Tests

Einzelfallanalyse

In der Tab. 60 sind zusammenfassend die Laktatwerte, die vor und nach den Tests gemessen wurden, für alle Probanden dargestellt. Die Mittelwerte mit den jeweiligen Standardabweichungen sind in der darunter stehenden Graphik (Abb. 54) abgebildet.

Die Mehrzahl der Probanden konnte bei jeder Messung mit einem normalen Ruhelaktat den Test beginnen. Nur die Pb. 05, 10 und 12 (1. und 2. Messung), die Probanden 14 und 15 (4. Messung), 16 (2. – 4. Messung) und 21 (1. – 4. Messung) zeigen gering erhöhte Ruhe-Laktatwerte von 2,1 – 2,9 mmol/l.

Bei einer Betrachtung einzelner Probanden sind vor allem die Probanden 05, 09, 14, 18 und 21 hervorzuheben. Ihre Laktatwerte liegen in der Nachbelastungsphase teilweise weit über 8,0 mmol/l. So erreichte bspw. Pb. 14 nach der 1. Messung 9,8 mmol/l, nach der zweiten 11,6 mmol/l und nach der dritten 10,7 mmol/l. Dies deutet auf eine sehr hohe Belastung, eventuell stellt es sogar eine Ausbelastung.

Tab. 60: Laktat aller Probanden vor und nach den KA-Tests

Pb.	Laktat [mmol/l]											
	1. Messung			2. Messung			3. Messung			4. Messung		
	R	NB	3 NB	R	NB	3 NB	R	NB	3 NB	R	NB	3 NB
01	1,5	5,8	6,9	1,4	7,6	9,2	0,8	5,5	9,6	1,0	5,5	7,6
03	0,7	5,7	5,7	1,0	5,4	5,9	0,7	4,4	5,3	0,8	3,9	4,3
04	1,0	5,7	5,5	1,2	6,0	6,6	0,5	3,7	4,4	1,3	5,4	6,7
05	2,5	8,9	9,0	2,3	9,3	9,1	1,5	5,7	5,3	0,9	6,2	6,5
07	1,6	6,8	6,8	0,8	4,4	5,4	1,3	5,3	6,7	0,8	4,0	4,1
09	1,2	8,1	8,9	1,0	7,9	8,9	1,5	6,8	8,5	1,0	7,7	8,6
10	2,3	8,7	9,0	2,2	6,4	7,1	1,4	4,6	4,8	0,7	4,3	4,5
12	2,6	7,9	8,9	2,7	5,8	7,3	1,8	6,6	6,5	1,0	5,1	6,7
13	1,0	7,0	7,4	0,9	9,0	6,5	0,7	7,6	8,1	1,1	4,7	6,3
14	1,6	8,9	8,7	1,3	7,6	8,2	1,7	7,4	10,9	2,7	8,3	8,2
15	1,2	6,5	5,8	1,6	8,8	7,8	1,6	6,6	7,1	2,6	9,2	8,9
16	1,3	8,4	7,2	2,6	6,1	5,0	2,9	7,7	7,7	2,7	6,0	4,7
17	1,8	5,9	6,1	1,4	7,4	7,5	1,3	6,1	6,8	1,5	4,6	5,3
18	1,9	9,0	9,8	2,0	10,3	11,6	2,0	10,6	10,7	1,1	7,4	7,4
19	1,4	6,2	7,0	1,2	6,3	5,8	1,9	5,5	6,6	0,9	5,1	5,0
21	2,3	8,2	7,4	2,8	8,2	8,7	2,1	8,8	9,4	2,2	8,3	8,2
22	1,4	6,0	6,2	1,3	5,4	4,6	1,7	5,6	5,9	1,2	7,9	7,8
Mw.	1,6	7,3	7,4	1,6	7,2	7,4	1,5	6,4	7,3	1,4	6,1	6,5
SD.	0,6	1,3	1,4	0,7	1,6	1,8	0,6	1,7	2,0	0,7	1,7	1,6

(R – Ruhe, NB – nach Belastung, 3 NB – 3 Minuten nach Belastung)

Bei den Probanden 03 (4. Messung), 04 (3. Messung), 07 (4. Messung), 10 (3. und 4. Messung), 16 und 17 (4. Messung) sowie 22 (2. Messung) wurden Laktatwerte nach den Tests von unter 5,0 mmol/l gemessen. Auffällig ist, dass diese geringen Laktatwerte gehäuft in den letzten beiden Tests gemessen wurden.

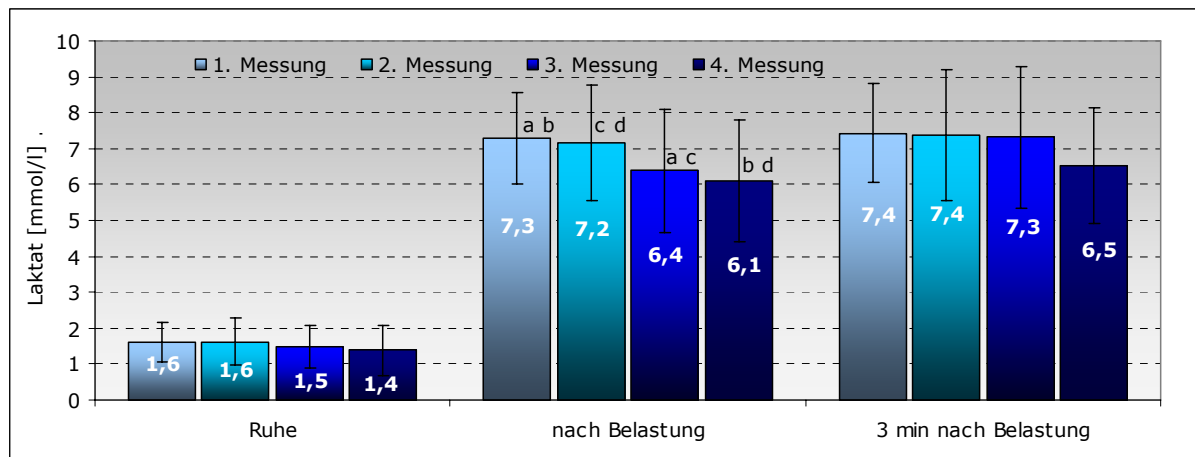


Abb. 54: Laktat (gemittelt, n = 17) der Probanden vor und nach den KA-Tests (Trainingsexperiment I), a – d = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

Bei den gemittelten Ruhe-Laktatwerten der vier Messungen sind keine Unterschiede zu finden. Alle vier Werte liegen auf demselben Niveau. Statistisch gesehen ist dementsprechend auch kein signifikanter Unterschied nachzuweisen (siehe Tab. 61).

Die gemittelten Laktatwerte für die Nachbelastungsphase (direkt nach der Belastung und 3 min. nach der Belastung) deuten zumindest für die 1. sowie für die 2. Messung auf eine hohe konditionelle Beanspruchung hin. Die Werte „nach Belastung“ der 3. und 4. Messung liegen signifikant unter den beiden ersten Messungen. Alle p-Werte der Signifikanztests können der unten stehenden Tabelle (Tab. 61) entnommen werden. Des Weiteren ist auffällig, dass über die vier Tests die Mittelwerte eine abfallende Tendenz zeigen.

Tab. 61: p-Werte der Signifikanztests für die Laktatwerte

	Ruhe			nach Belastung			3 min nach Belastung		
Messung	2.	3.	4.	2.	3.	4.	2.	3.	4.
1.	0,8333	0,4840	0,3397	0,7846	0,0184	0,0140	0,8600	0,8030	0,0688
2.	-	0,3166	0,2280	-	0,0334	0,0177	-	0,9026	0,0503
3.	-	-	0,4891	-	-	0,4833	-	-	0,0865

Gruppen- und Testvergleiche

In der Tab. 62 sind die gemittelten Laktatwerte, die vor und nach den Kraftausdauer tests gemessen wurden, für die Test- und Kontrollgruppe zusammengefasst. Die Mittelwerte

der Test- sowie der Kontrollgruppe sind für jede Messung in den folgenden Graphiken (Abb. 55) abgebildet.

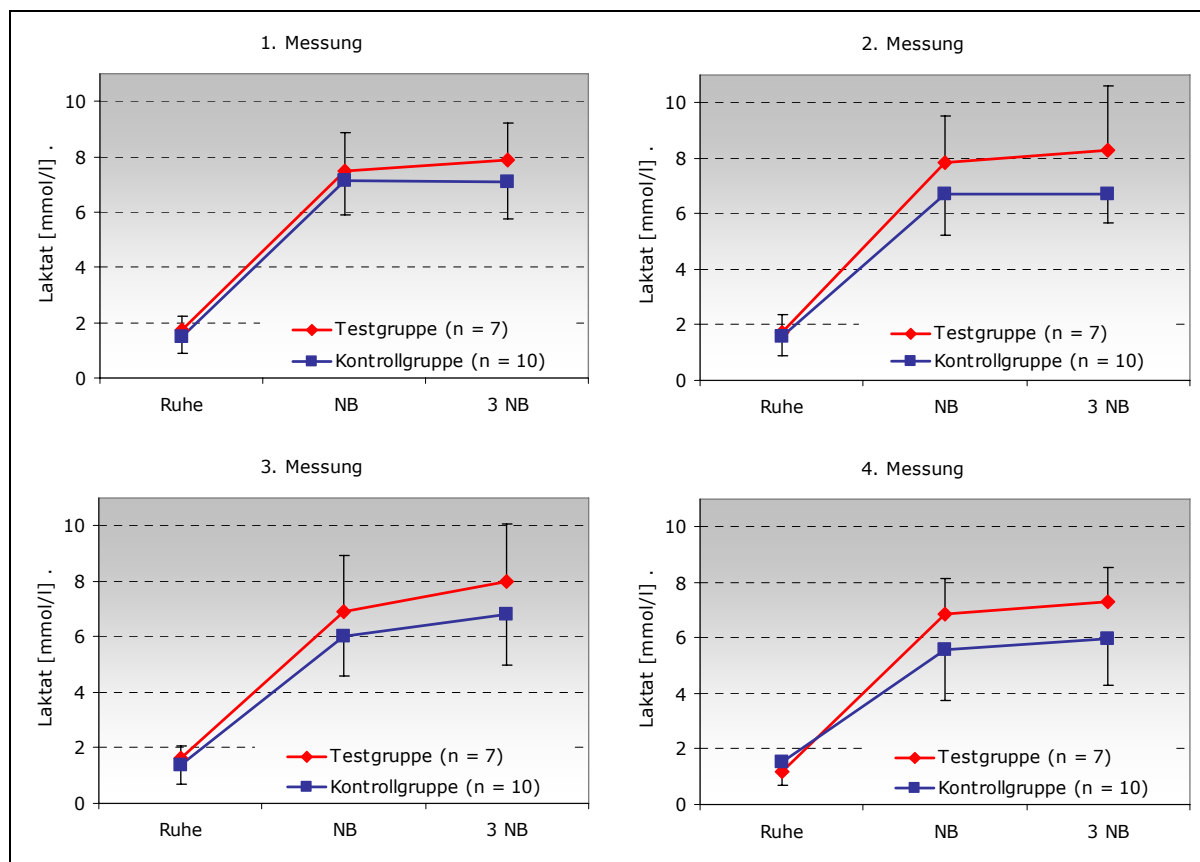


Abb. 55: Laktatwerte (Mw. und SD.) der Probanden der Test- (n = 7) und der Kontrollgruppe (n = 10) bei den vier Messungen für Ruhe, direkt nach der Belastung (NB) und 3 Minuten nach der Belastung (3 NB)

Wie in Abb. 55 zu sehen ist, wurden bei der Testgruppe rund 1 mmol/l höhere Laktatwerte nach den Belastungen gemessen. Bei allen vier Messungen sind aber keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen. Es finden sich lediglich für die Werte „3 Minuten nach Belastung“ bei der 2. Messung sowie bei der 4. Messung eine Tendenz (2. Messung: $p = 0,0834$; 4. Messung: $p = 0,0933$).

Tab. 62: Gemittelte Laktatwerte (Mw. \pm SD.) der Test- (n = 7) sowie der Kontrollgruppe (n = 10), R – Ruhe, NB – nach Belastung, 3 NB – 3 Minuten nach Belastung

		Laktat [mmol/l]			
Gruppe		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
T	Ruhe	1,74 \pm 0,50	1,71 \pm 0,66	1,64 \pm 0,44	1,19 \pm 0,46
	NB	7,46 \pm 1,41	7,86 \pm 1,67	6,93 \pm 2,01	6,87 \pm 1,26
	3 NB	7,89 \pm 1,34	8,27 \pm 2,34	8,00 \pm 2,07	7,30 \pm 1,21
K	Ruhe	1,51 \pm 0,60	1,57 \pm 0,69	1,39 \pm 0,70	1,52 \pm 0,83
	NB	7,15 \pm 1,24	6,69 \pm 1,48	6,00 \pm 1,43	5,55 \pm 1,81
	3 NB	7,11 \pm 1,37	6,73 \pm 1,05	6,83 \pm 1,87	5,97 \pm 1,67

Werden innerhalb der beiden Gruppen die Messungen miteinander verglichen, können bei den folgenden Unterschieden eine Signifikanz nachgewiesen werden: Bei der Testgruppe

ist der Ruhe-Laktatwert der 4. Messung signifikant niedriger als die Ruhe-Laktatwerte der 1., 2. und 3. Messung (1. vs. 4.: $p = 0,0296$; 2. vs. 4.: $p = 0,0288$; 3. vs. 4.: $p = 0,0384$). Bei den Nachbelastungswerten (NB und 3 NB) sind weder signifikante Unterschiede noch Tendenzen zu finden.

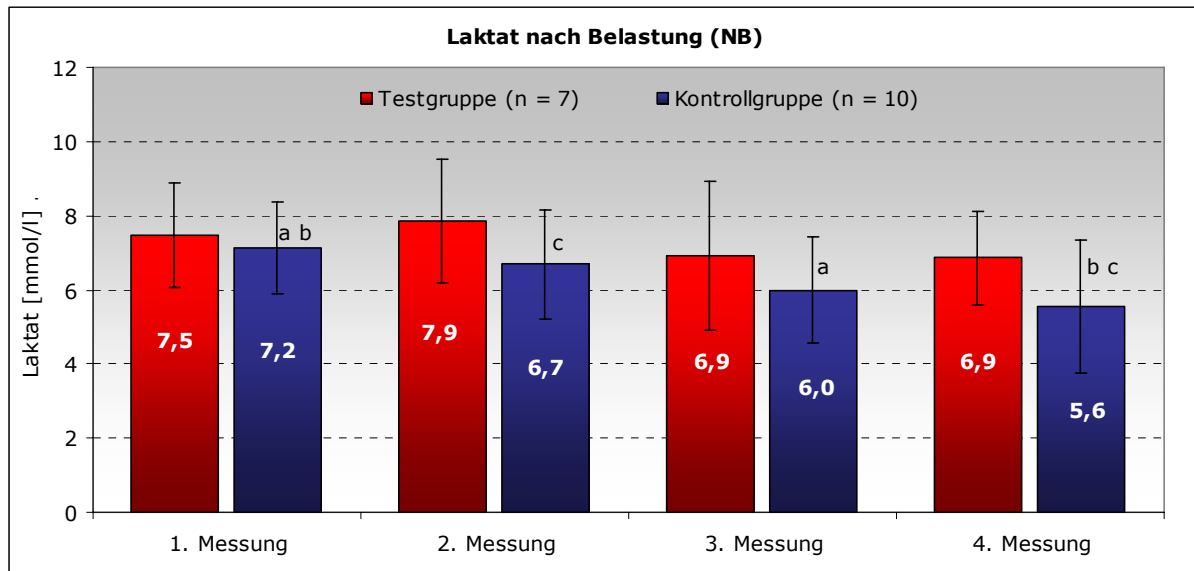


Abb. 56: Laktat (Mw. \pm SD.) direkt nach den Kraftausdauer tests für die Test- ($n = 7$) sowie Kontrollgruppe ($n = 10$), a – c = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

In der Kontrollgruppe findet sich beim Vergleich der Ruhe-Laktatwerte kein signifikanter Unterschied. Bei den Laktatwerten, die direkt nach der Belastung gemessen wurden (NB), sind die Mittelwerte der 3. und 4. Messung signifikant niedriger als die der 1. Messung (1. vs. 3.: $p = 0,0245$; 1. vs. 4.: $p = 0,0271$). Der Mittelwert der 4. Messung ist ebenfalls signifikant niedriger im Vergleich zur 2. Messung ($p = 0,0452$), wie u. a. in Abb. 56 zu sehen ist. Für die Laktatwerte „3 Minuten nach Belastung“ lässt sich lediglich eine Tendenz beim Vergleich der 2. mit der 4. Messung ($p = 0,0651$) nachweisen. Alle Signifikanzwerte können der Tab. A 41 im Anhang entnommen werden.

6.2.3 Wettkampfzeiten

Die erreichten Wettkampfzeiten der Probanden, welche bei regionalen Wettkämpfen und bei den Deutschen Meisterschaften (Jahreshöhepunkt) erzielt wurden, zeigen für die Testgruppe keine Verbesserung in Sinne einer höheren Schwimmgeschwindigkeit bzw. einer kürzeren Streckenzeit. Die Veränderungen sind nur von einem sehr geringen Ausmaß und verlaufen in beide Richtungen, so dass keine statistisch relevante Veränderung nachzuweisen ist. Auch bei den Probanden der Kontrollgruppe können keine signifikanten Veränderungen nachgewiesen werden.

Des Weiteren sind die Unterschiede der erreichten Zeiten bei dem jeweiligen Jahreshöhepunkt im Vergleich zu den regionalen Wettkämpfen so groß (teilweise 3 Sekunden auf 100 m), dass hier eine verlässliche Aussage nicht möglich ist. Dies kann so gut wie für jeden Leistungsschwimmer der Datenbank des Deutschen Schwimmverbandes (<http://schwimmen.dsv.de/modules/results/individual.aspx>) entnommen werden, in der die Strecken mit den jeweiligen Zeiten gespeichert und abrufbar sind.

6.2.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Trainingsexperiments zeigen kein eindeutiges Resultat. Von den sieben Probanden der Testgruppe konnte nur bei zwei Probanden (Pb. 01 und 21) ein positiver Effekt und bei einem (Pb. 05) ein negativer Effekt des Trainings am AKZ mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten nachgewiesen werden. So verringerten sich beispielsweise beim Pb. 01 die Differenzen der mittleren Leistung (von 11,8 % auf 5,3 %), mittleren (von 8,5 % auf 4,0 %) und maximalen Kraft (von 9,7 % auf 1,5 %) sowie die des Zugweges (von 2,1 % auf 0,5 %). Die anderen vier Probanden der Testgruppe zeigten bei den gemessenen Parametern (bis auf den Zugweg) keine eindeutige Verringerung der absoluten bzw. prozentualen Differenzen.

Die Probanden der Kontrollgruppe, die mit denselben Belastungseinstellungen für die beiden Seiten trainierten, zeigen ein sehr heterogenes Bild bei den Auswirkungen. Während bei sechs Probanden die erreichten Ergebnisse relativ stabil blieben, stiegen die Differenzen bei den anderen vier Probanden in unterschiedlichen Messungen an.

Werden beide Gruppen miteinander verglichen, so zeigt sich, dass der anfangs vorhandene signifikante Unterschied bei der mittleren Leistung von 4,5 % auf 1,6 % minimiert wurde. Eine Verringerung der vorhandenen Seitendifferenz bei der Testgruppe für die mittlere Leistung konnte nicht erzielt werden. Bei der maximalen Kraft konnte bei der Testgruppe eine nichtsignifikante Verringerung der prozentualen Differenz von anfangs 5,5 % auf 3,1 % erreicht werden. Die Kontrollgruppe zeigte hingegen mit dem nahezu gleichen Ausgangswert bei der maximalen Kraft (5,4 %) eine nichtsignifikante Vergrößerung um 1,1 % auf 6,5 %. Nur beim Zugweg lässt sich bei der Testgruppe eine signifikante Verringerung nach dem Trainingsexperiment bei der prozentualen Differenz nachweisen. Beim Vergleich der beiden Gruppen für die mittlere Kraft und für die Zugzeit sind keine Unterschiede im Verlauf nachzuweisen.

Bei den Messungen im Strömungskanal konnten bei der eingestellten Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$ keine Unterschiede zwischen den beiden Seiten beim Durchzug der Arme gemessen werden.

6.3 Trainingsdaten eines Athleten

Der Schwimmer Pb. 18 war zur Test- und Trainingsphase 24 Jahre alt, wog 99 kg und hatte eine Körperlänge von 199 cm. Er gehörte zu diesem Zeitpunkt der Nationalmannschaft Schwimmen und dementsprechend dem A-Kader an. Mit einem Lateralitätsquotienten von $LQ = 80$ ist er Rechtshänder. Die persönlichen Bestzeiten des Schwimmers im Vergleich zu den zum Testzeitpunkt aktuellen Weltrekorden (Stand Dez. 2005) sind der Tab. 63 zu entnehmen.

Tab. 63: Persönliche Bestzeiten des Schwimmers Pb. 18 auf der Langbahn (50 m) im Vergleich zu den Weltrekordzeiten (Stand Dez. 2005)

Lage	Strecke [m]	persönliche Bestzeit [min:s]	Weltrekordzeit [min:s]
Schmetterling	50	0:23,9	0:22,96
	100	0:53,7	0:50,40
Freistil	50	0:23,4	0:21,64
	100	0:51,6	0:47,84
Lagen	200	1:59,3	1:55,94

Beim Eingangstest wurden die in der Tab. 64 stehenden Werte gemessen bzw. errechnet. Sein Ruhelaktat betrug 1,9 mmol/l. Er zog mit einer Zugfrequenz von $38,8 \text{ min}^{-1}$, sein Laktat direkt nach der Belastung war 9,0 mmol/l und der Wert 3 Minuten nach der Belastung lag bei 9,8 mmol/l. Es wurde mit denselben Belastungseinstellungen für die linke und rechte Seite am AKZ gezogen (siehe Kapitel 5.4 Untersuchungsdesign).

Tab. 64: Mittelwerte und Standardabweichungen für die mittlere Leistung (P_{mit}), mittlere Kraft (F_{mit}), max. Kraft (F_{max}), den Zugweg (s) und die Zugzeit (t) des Schwimmers Pb. 18 für den Eingangstest

	links	rechts	abs. Diff.	proz. Diff. [%]	p
mittlere Leistung [W]	230,7 ± 17,6	245,4 ± 15,0	14,7	6,0	< 0,001
mittlere Kraft [N]	96,0 ± 4,52	101,2 ± 4,0	5,2	5,1	< 0,001
max. Kraft [N]	114,9 ± 6,7	123,4 ± 8,3	8,5	6,9	< 0,001
Zugweg [mm]	1572,6 ± 16,4	1545,4 ± 18,4	27,2	1,7	< 0,001
Zugzeit [ms]	735,0 ± 22,0	716,1 ± 16,7	18,9	2,6	< 0,001

Alle Parameter zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der linken und rechten Seite mit einem p-Niveau von $p < 0,001$. Die prozentuale Differenz der mittleren Kraft beträgt 5,1 % und die der mittleren Leistung 6,0 %. Dieser Schwimmer zeigt eine größere Kraft und eine größere Leistung für die rechte Seite.

Das Training erfolgte an einem AKZ neuerer Bauart (siehe Kapitel 5.3.2 Armkraftzugerät (AKZ)). Bei diesem Gerät können die beiden Wirbelstrombremsen getrennt voneinander angesteuert werden. So ist es möglich, unterschiedliche Bremslasten für die linke und rechte Seite einzustellen. Die Belastungseinstellungen für das Training sind folgender Tabelle (Tab. 65) zu entnehmen. Für die linke Seite wurden für jede Zugphase sowie für die Freilaufbremslast 5 Prozentpunkte mehr als für die rechte eingestellt.

Tab. 65: Bremslasteinstellung am AKZ für das Zugtraining des Schwimmers Pb. 18

	Zugphase					Freilauf- bremslast
	1.	2.	3.	4.	5.	
Zugweg [%]	0 - 20	20 - 50	50 - 70	70 - 80	80 - 100	100 - 0
links [%]*	20	25	30	30	30	40
rechts [%]*	15	20	25	25	25	35

* (die Prozentwerte beziehen sich auf die max. einzustellende Kraft von 700N)

Der Schwimmer Pb. 18 hat auf Grund seiner Lagenspezifik (Hauptlagen: Schmetterling und Lagenschwimmen) sowie seines individuellen Trainingsprogramms am AKZ Freistil und Schmetterling im Wechsel gezogen. So wurden die 2minütigen Trainingseinheiten viermal in Freistil und viermal in Schmetterling in alternierender Reihenfolge absolviert. Es werden die Daten der ersten vier Wochen, insgesamt 36 2minütige KA-Trainingseinheiten (18 Freistil und 18 Schmetterling), analysiert.

Die Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveaus der einzelnen Parameter getrennt für Schmetterling und Freistil über die 36 Trainingseinheiten zeigt die Tab. 66. Alle Parameter zeigen hoch signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) zwischen der rechten und linken Seite.

Tab. 66: Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveaus der Trainingsdaten vom Schwimmer Pb. 18 über 18 Einheiten für jeweils Freistil und Schmetterling

	Seite	Schmetterling		Freistil		S vs. F
		Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p	p
P_{mit} [W]	li.	263,8 \pm 33,0	< 0,001	236,7 \pm 23,2	< 0,001	< 0,001
	re.	250,9 \pm 29,1		256,6 \pm 27,8		
F_{mit} [N]	li.	113,8 \pm 10,3	< 0,001	106,2 \pm 8,2	< 0,001	< 0,001
	re.	107,9 \pm 10,0		109,2 \pm 7,1		
v_{max} [m/s]	li.	3,60 \pm 0,19	< 0,001	3,42 \pm 0,17	< 0,001	< 0,001
	re.	3,67 \pm 0,18		3,70 \pm 0,17		
s [mm]	li.	1379,2 \pm 46,1	< 0,001	1374,7 \pm 34,0	< 0,001	0,545
	re.	1331,3 \pm 38,1		1335,9 \pm 34,3		
t [ms]	li.	630,1 \pm 22,4	< 0,001	650,0 \pm 21,6	< 0,001	< 0,001
	re.	608,8 \pm 28,2		607,5 \pm 19,4		
ZF [min⁻¹]		40,2 \pm 1,2	-	39,8 \pm 0,9	-	0,112

In der Abb. 57 sind die erreichten Werte (Mittelwerte und Standardabweichungen) des Schwimmers Pb. 18 für Schmetterling und Freistil sowie für links und rechts getrennt voneinander graphisch dargestellt.

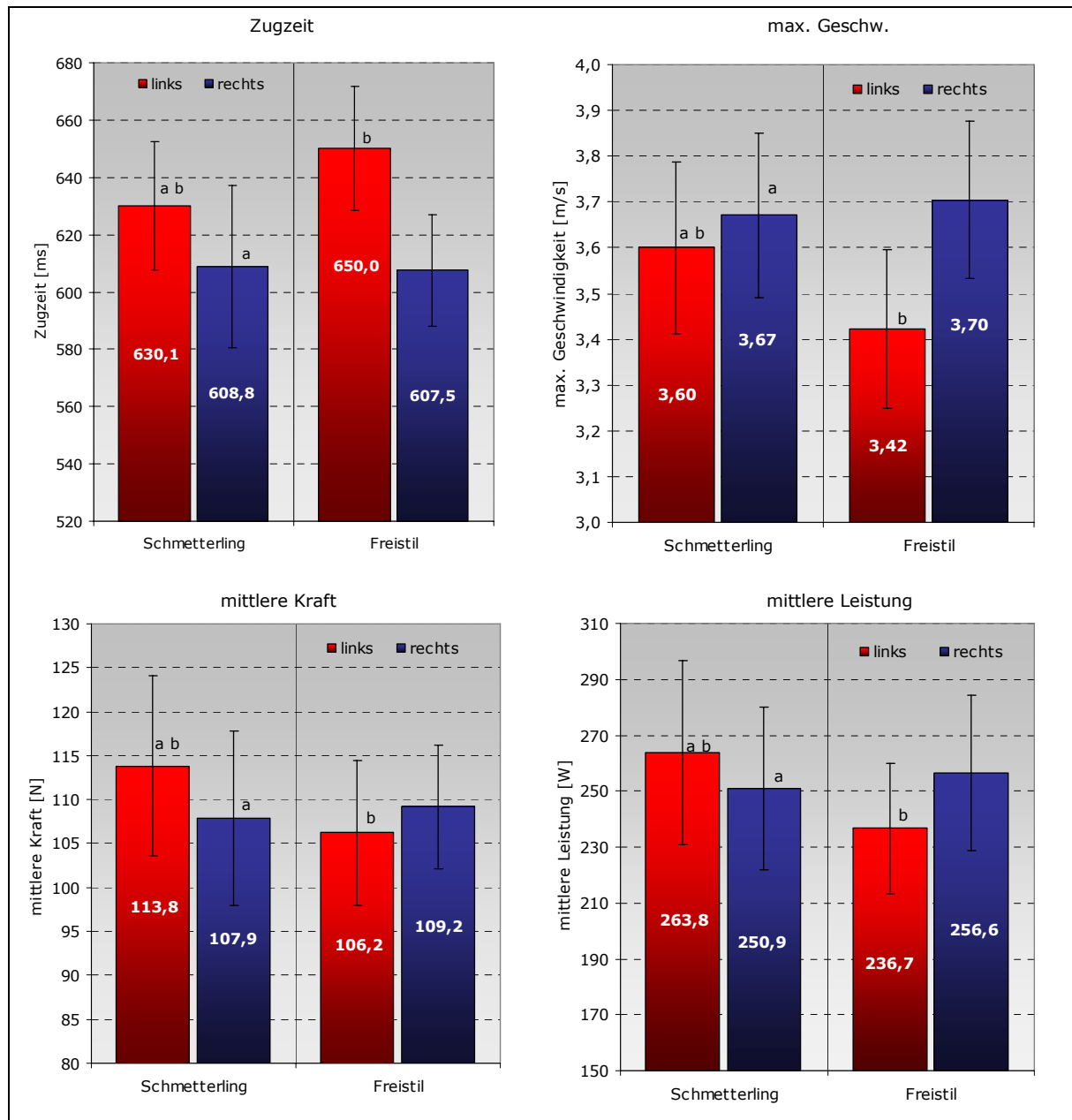


Abb. 57: Zugzeit, maximale Zuggeschwindigkeit, mittlere Kraft und mittlere Leistung vom Schwimmer Pb. 18 vom Training am AKZ für Schmetterling (n = 18) und Freistil (n = 18), a und b = signifikanter Unterschied (p < 0,05)

Auffällig sind die Werte der linken Seite bei Freistil bzgl. der Parameter Zugzeit (t), mittleren Kraft (F_{mit}) und mittleren Leistung (P_{mit}). Diese zeigen deutliche Unterschiede zu denen der linken Seite bei Schmetterling. Ebenfalls bei der maximalen Geschwindigkeit sind Unterschiede zwischen den beiden Zugstilen zu finden. Wie die Abb. 57 zeigt, ist die max. Geschwindigkeit der linken Seite bei Freistil deutlich unter der von Schmetterling. Der statistische Vergleich zwischen den beiden Zugstilen (Schmetterling/links vs. Freistil/links, usw.) zeigt, dass ausschließlich die Werte der linken Seite signifikante Unterschiede (p < 0,001) aufweisen, wie es in Tab. 66 zu sehen ist.

In der Abb. 58 sind die absoluten Differenzen zwischen den Zugstilen Schmetterling und Freistil für die Seiten links und rechts dargestellt (Schmetterling – Freistil). Bei der Zugzeit, max. Geschwindigkeit, mittleren Kraft und mittleren Leistung sind deutliche Unterschiede für die linke Seite zwischen den Zugstilen (große Abweichung vom Nullpunkt) aber auch zwischen den beiden Seiten (links vs. rechts) zu erkennen. Für den Zugweg sind die Unterschiede marginal und können somit vernachlässigt werden.

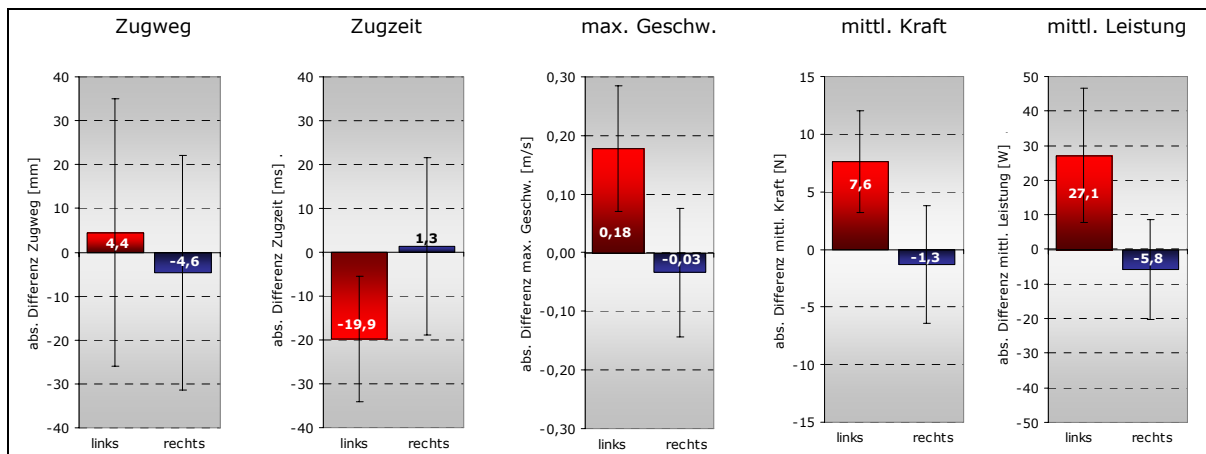


Abb. 58: Absolute Differenzen (= Schmetterling – Freistil) der Parameter Zugweg, Zugzeit, max. Geschw., mittlere Kraft und mittlere Leistung vom Schwimmer Pb. 18 vom Training am AKZ für links und rechts (n = 18)

Im Vergleich von Schmetterling mit Freistil für die absoluten Seitendifferenzen (siehe Abb. 59) sowie die prozentualen Seitendifferenzen zeigten die Parameter mittlere Leistung (P_{mit}), mittlere Kraft (F_{mit}), maximale Geschwindigkeit (v_{max}) und Zugzeit (t) signifikante Unterschiede. Die Werte können den Tabellen Tab. A 43 und Tab. A 44 im Anhang entnommen werden.

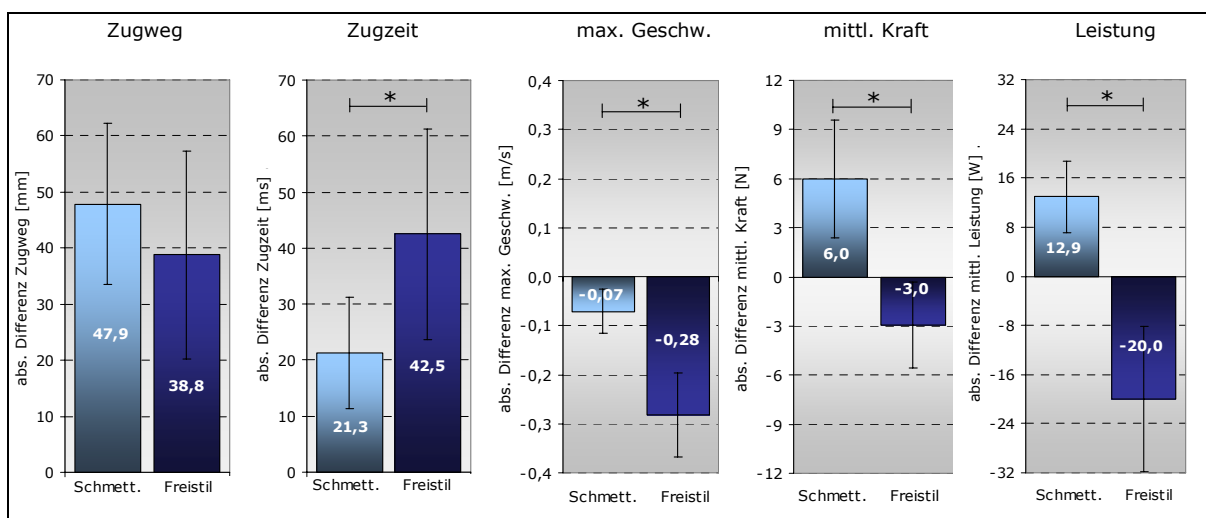


Abb. 59: Absolute Differenzen (= li. - re.) der Parameter Zugweg, Zugzeit, max. Geschwindigkeit, mittlere Kraft und mittlere Leistung vom Schwimmer Pb. 18 vom Training am AKZ für Schmetterling (n = 18) und Freistil (n = 18), * = signifikanter Unterschied ($p < 0,05$)

Zusammenfassend kann für die Analyse der Trainingsdaten für den Schwimmer Pb. 18 folgendes festgestellt werden:

- Für einen Durchzug am AKZ benötigt der Proband für die linke Seite mehr Zeit in der Freistilbewegung als in der Schmetterlingsbewegung bei gleichzeitig gleich bleibender Zugzeit in beiden Zugstilen für die rechte Seite (bei relativ gleichem Zugweg).
- Daraus ergibt sich zwangsläufig für die linke Seite eine geringere max. Geschwindigkeit für Freistil.
- Die Kraft für die linke Seite ist bei Freistil geringer als bei Schmetterling, bei Freistil ist die Kraft der linken Seite im Vergleich mit der rechten niedriger, aber bei Schmetterling zeigt die linke Seite höhere Kraftwerte als die rechte.
- Vergleicht man die mittlere Leistung, die ein Produkt aus der aufgebrauchten Kraft, dem zurückgelegten Zugweg und der dafür benötigten Zugzeit ist, für den Zugstil Freistil, so ist die mittlere Leistung der linken Seite geringer als die der rechten.
- Beim Schmetterling wird auf der linken Seite bei der mittleren Leistung ein größerer Wert als auf der rechten erreicht.
- Beim Vergleich beider Zugstile weist die mittlere Leistung der linken Seite beim Schmetterling einen größeren Wert auf als die linke Seite beim Freistil.

7 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, einen lateralen Kräfteunterschied der oberen Extremitäten durch ein zusätzliches Kraftausdauertraining zu verringern. Voraussetzung war allerdings das Vorhandensein einer lateralen Kraftdifferenz. In vielen azyklischen aber auch in einigen zyklischen Sportarten wie beispielsweise Kanu (BIERMANN & WICK 1997; KRÜGER 1998; KRÜGER 2005) und Schwimmen (BIEDER 1995; STRASS 1999; HERMSDORF & WOLFF 2006; WITT & HERMSDORF 2006) wurden bereits Lateralitäten der oberen Extremitäten in Bezug auf die Kraftfähigkeiten nachgewiesen. Allerdings sind keine Studien zu finden, in denen versucht wurde, diese Kraftdifferenzen durch ein gezieltes Training zu verringern. Dementsprechend können die Ergebnisse des vorliegenden Trainingsexperimentes auch nicht mit Ergebnissen anderer Autoren verglichen werden. Es können lediglich die Daten des Ausgangstests (Test bzw. Messung 1) mit bereits publizierten Ergebnissen verglichen werden.

7.1 Tests im Strömungskanal

Bei den Untersuchungen im Strömungskanal waren vor sowie nach dem Trainingsexperiment keine Unterschiede zwischen den beiden Seiten (links und rechts) festzustellen.

Dies kann auf die im Vorfeld festgelegte Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$ zurückgeführt werden, welche nicht der maximal möglichen Schwimmgeschwindigkeit eines jeden Probanden entsprach. Bei solch einer moderaten Strömungsgeschwindigkeit können die Leistungsschwimmer die Geschwindigkeit relativ leicht halten und beim Durchzug der Arme wird nicht die Leistungsgrenze erreicht. Somit können keine Differenzen zwischen den beiden Seiten festgestellt werden. Für diese Untersuchung hätte eine Strömungsgeschwindigkeit im Mittel von $u = 1,87 \pm 0,05 \text{ m/s}$ herangezogen werden müssen. Es ist anzunehmen, dass eine individuelle Strömungsgeschwindigkeit bei der Untersuchung, die bei den untersuchten Probanden in dem Bereich von 1,79 bis 1,96 m/s lag, zu den erwarteten Ergebnissen geführt hätte.

Bekräftigt wird diese Vermutung durch Ergebnisse des Forschungsprojektes „EMG und Schwimmen“ (HERMSDORF & WOLFF 2002). Bei den dort durchgeführten Untersuchungen im Strömungskanal, bei denen die Probanden mit einer Geschwindigkeit schwimmen mussten, die ihrer maximalen Leistung auf 100 m entsprach, wurden Unterschiede zwischen den beiden Seiten festgestellt (siehe Abb. 14). Solche Ergebnisse wurden auch bei diesem Trainingsexperiment erwartet. Allerdings hätten die Untersuchungen bei den individuellen maximalen Schwimmgeschwindigkeiten stattfinden müssen.

Auch in anderen Veröffentlichungen sind diese Phänomene dargestellt, wenn auch nicht explizit auf die Seitendifferenz eingegangen wird. So findet sich beispielsweise bei REISCHLE (1988) ein v/t -Diagramm eines Kraulschwimmers, bei dem der horizontale, intrazyklische Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des Oberflächenpunktes der Hüfte dargestellt ist (siehe Abb. 60).

Gut zu sehen ist in der Abb. 60 das geringere Maximum $v_{\text{MAX I}}$ ($v = 1,48 \text{ m/s}$) und das größere Maximum $v_{\text{MAX II}}$ ($v = 1,61 \text{ m/s}$). Die mittlere Schwimmgeschwindigkeit beträgt bei dieser Messung $v = 1,42 \text{ m/s}$. Der Schwimmer erreicht beim Durchzug des rechten Armes eine höhere Geschwindigkeit als beim Durchzug mit dem linken Arm.

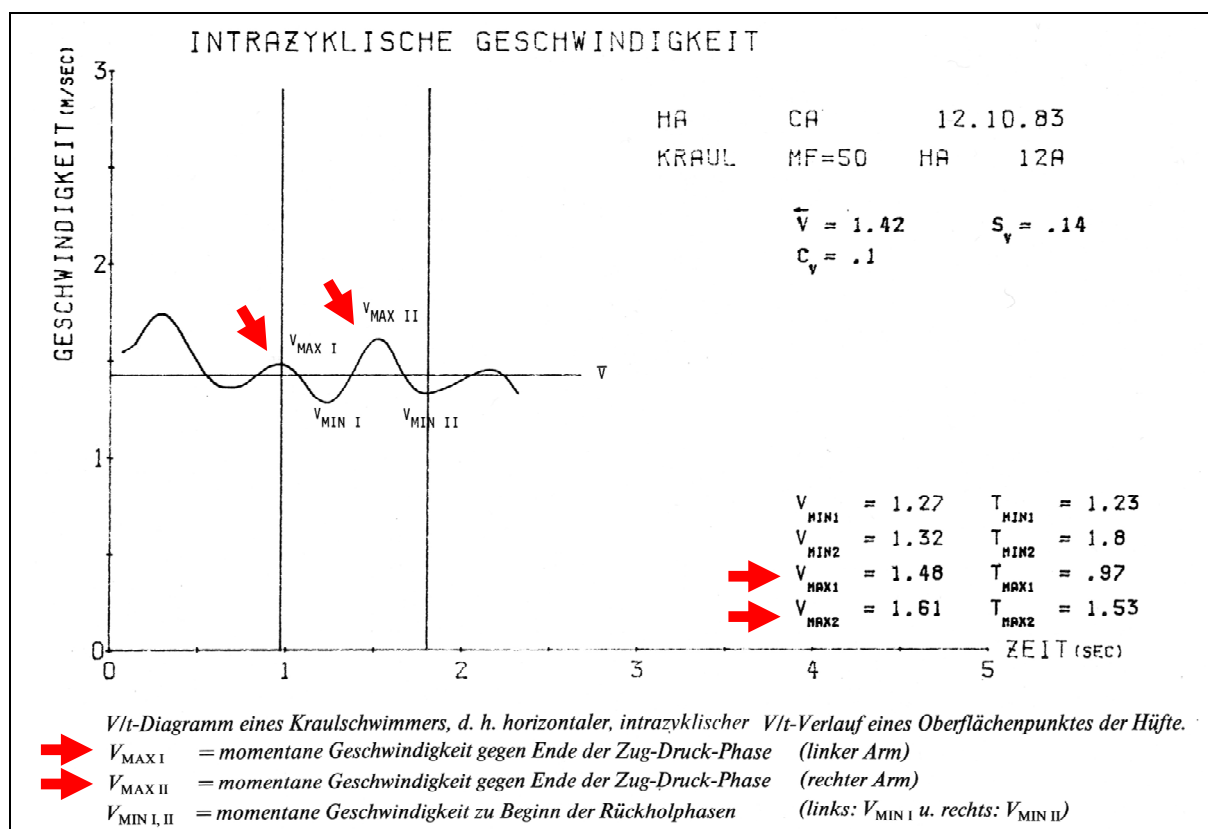


Abb. 60: v/t -Diagramm eines Kraulschwimmers (aus REISCHLE 1988)

Auf Grund einer zu geringen Strömungsgeschwindigkeit bei den eigenen Messungen im Strömungskanal können leider keine Aussagen über die Seitendifferenzen beim Kraulschwimmen und deren Veränderungen im Laufe des Trainingsexperimentes getroffen werden. Für zukünftige Projekte und Untersuchungen sollte eine Strömungsgeschwindigkeit gewählt werden, welche die Schwimmer maximal 30 s halten können, d.h. ohne nach hinten abgetrieben zu werden. Dies entspricht ungefähr der Durchschnittsgeschwindigkeit auf 100 m Kraul bei maximaler Leistung.

7.2 Tests am Armkraftzuggerät

Im Folgenden werden die dargestellten Ergebnisse der Parameter Zugfrequenz, Gesamt- und mittlere Leistung, maximale und mittlere Kraft, Zugweg, Zugzeit und Laktat anhand von Befunden aus anderen Untersuchungen aber auch im Vergleich zwischen den einzelnen Tests diskutiert.

7.2.1 Vergleich der Ausgangswerte mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen

Im ersten Schritt sollen die erreichten Werte vom Eingangstest der Probanden mit Ergebnissen von Leistungsschwimmern aus Untersuchungen vom IAT (M. WITT), die zum Teil auch publiziert wurden, verglichen werden. In der folgenden Tabelle (Tab. 67) stehen die erreichten Ergebnisse von Leistungsschwimmern (A- und B-Kader), die im Rahmen einer komplexen Leistungsdiagnostik am IAT an einem Armkraftzuggerät einen 2minütigen Kraftausdauertest in der Zugart Kraul durchgeführt haben. Es wurden nur die Ergebnisse der männlichen Schwimmer und auch nur ein Test pro Schwimmer bei der Berechnung der Mittelwerte berücksichtigt.

Es ist zu beachten, dass bei der Mittelwertsberechnung der absoluten Differenz immer der Absolutwert der Differenz pro Zyklus verwendet wurde (z. B. 11 W statt -11 W bei der mittleren Leistung).

Tab. 67: Gemittelte Ergebnisse (Mw. \pm SD.) von Kraftausdauertests (2 min, Kraul, männliche Schwimmer) vom IAT (n = 15)

	Kraftausdauertest, Kraul, 2 min.			
	links	rechts	abs. Diff.	proz. Diff. [%]
P_{mit} [W]	217,4 \pm 55,9	226,2 \pm 59,7	11,2 \pm 10,1	4,8 \pm 3,7
F_{mit} [N]	97,2 \pm 24,2	101,0 \pm 24,0	4,3 \pm 4,2	4,2 \pm 3,8
v_{max} [m/s]	3,51 \pm 0,29	3,52 \pm 0,33	0,14 \pm 0,09	4,0 \pm 2,6
s [mm]	1437,6 \pm 81,2	1412,4 \pm 90,7	41,2 \pm 20,6	2,9 \pm 1,4
t [ms]	643,9 \pm 43,3	633,4 \pm 42,4	23,6 \pm 17,6	3,6 \pm 2,8

Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei den Athleten im Hochleistungssport Unterschiede in den Kraftfähigkeiten der beiden Seiten zu finden sind. Im Mittel beträgt in dieser Stichprobe die prozentuale Differenz der mittleren Leistung 4,8 %. Die gemittelte Zugfrequenz liegt bei den 15 Hochleistungsschwimmern bei $47,1 \pm 2,6 \text{ min}^{-1}$, das Minimum bei $40,6 \text{ min}^{-1}$ und das Maximum bei $51,7 \text{ min}^{-1}$.

Bei dem Trainingsexperiment dieses Forschungsprojektes zogen die 17 Leistungsschwimmer im Mittel mit einer Zugfrequenz von $38,3 \pm 4,4 \text{ min}^{-1}$, das Minimum lag bei $29,4 \text{ min}^{-1}$ und das Maximum bei $44,1 \text{ min}^{-1}$. Beim Vergleich der Zugfrequenzen der Schwimmer, die beim IAT getestet wurden, mit denen der Probanden der eigenen

Untersuchung (Schwimmer IAT vs. Pb. eigene Untersuchung), ist ein deutlicher Unterschied zu finden, der statistisch eine Signifikanz von $p < 0,001$ aufweist.

Die erreichten Werte der Probanden des eigenen Forschungsprojektes für die mittlere Leistung, mittlere und maximale Kraft, Zugzeit sowie Zugweg sind für den Eingangstest in der Tab. 68 zusammenfassend dargestellt. Auffällig sind im Vergleich zu den IAT-Daten die geringeren Werte der mittleren Leistung, der mittleren Kraft und die längere Zugzeit bei relativ geringerem Zugweg. Alle direkten Vergleiche (IAT-Daten vs. eigene Ergebnisse), bis auf den Zugweg der rechten Extremität, zeigen einen signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$.

Tab. 68: Gemittelte Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des Eingangstests (KA-Test, 2 min., Kraul) des eigenen Forschungsprojektes bzw. Trainingsexperimentes ($n = 17$)

	Eingangstest			
	links	rechts	abs. Diff.	Proz. Diff. [%]
P_{mit} [W]	151,9 \pm 31,4	159,5 \pm 35,4	9,4 \pm 7,2	5,6 \pm 3,9
F_{mit} [N]	78,3 \pm 8,9	81,8 \pm 9,8	3,6 \pm 2,3	4,3 \pm 2,5
F_{max} [N]	102,7 \pm 13,7	106,7 \pm 12,3	5,9 \pm 3,3	5,7 \pm 3,2
s [mm]	1363,8 \pm 92,2	1381,7 \pm 90,1	33,4 \pm 22,3	2,4 \pm 1,6
t [ms]	810,2 \pm 95,6	805,0 \pm 86,1	20,4 \pm 15,5	2,4 \pm 1,7

Die Hochleistungsschwimmer, die am IAT eine komplexe Leistungsdiagnostik durchlaufen, gehören größtenteils der Nationalmannschaft an und sind A- bzw. B-Kader. Viele Wettkämpfe, an denen diese Schwimmer teilnehmen, werden auf internationaler Ebene durchgeführt. Dementsprechend müssen die Leistungen dieser Schwimmer auch auf einem sehr hohen Niveau sein. Dahingegen waren im eigenen Projekt Leistungsschwimmer, die hauptsächlich auf nationaler und vereinzelt auch auf internationaler Ebene an Wettkämpfen teilnehmen. Das Leistungsniveau lag dementsprechend etwas niedriger. Vom kalendarischen Alter sowie vom Trainingsalter her befinden sich die Schwimmer schon im Hochleistungstraining und versuchen, den Anschluss an das internationale Leistungsniveau zu schaffen. Aus diesem Grund sind viele der im Trainingsexperiment getesteten Probanden D/C- bzw. C-Kader, vereinzelt auch B- und A-Kader (siehe Tab. 28 auf Seite 61). Der signifikante Leistungsunterschied war somit zu erwarten.

Auffällig sind nur die relativ gleichen prozentualen Seitendifferenzen bei der mittleren Leistung, der mittleren Kraft, dem Zugweg und der Zugzeit. Statistisch liegen alle Vergleiche der prozentualen Differenzen (IAT-Daten vs. eigene Ergebnisse) bei einem Signifikanzniveau von $p > 0,14$. Die beiden Stichproben unterscheiden sich somit in den Leistungswerten, aber nicht bei den Lateralitäten und deren Ausmaß. Es könnte vermutet werden, dass mit einem steigenden Leistungsniveau die vorhandenen Leistungsunterschiede der beiden Extremitäten relativ stabil bleiben. Diese Vermutung wird durch die Längsschnittuntersuchung von Hochleistungsschwimmern gestützt, bei der

eine relative Konstanz der Seitenunterschiede nachgewiesen wurde (siehe Kapitel „3.2.2.2 Längsschnittsuntersuchung“ ab Seite 53).

Auch bei veröffentlichten Studien, bei denen Leistungsschwimmer getestet wurden, konnten Lateralitäten der oberen Extremitäten nachgewiesen werden, auch wenn diese Studien dies nicht als Ziel hatten. So fanden sich in den publizierten Daten von BIEDER & UNGERECHTS (1995) und STRASS ET AL. (1999) bei den untersuchten Probanden ($n = 27$ und $n = 30$) Seitendifferenzen von bis zu 22 % (statische Kontraktionen).

Das Phänomen von Lateralitäten bei Sportlern aus zyklischen Sportarten, wie u. a. dem Schwimmen, scheint somit kein seltenes zu sein. In vielen Publikationen, wo Kraft-, Arbeits- und/oder Leistungswerte von beiden Seiten bzw. Extremitäten publiziert wurden, lassen sich Lateralitäten nachweisen. Deutlich wird dies vor allem bei der Analyse der Daten von den Hochleistungssportlern, die beim IAT eine komplexe Leistungsdiagnostik absolviert haben, sowie der Daten der eigenen Untersuchung. Die Probanden waren in der Regel A-, B-, C- und D/C-Kader-Sportler.

Aber auch bei Sportlern in anderen zyklischen Sportarten wie bei den Kanuten wurden Kraftunterschiede bei den oberen Extremitäten nachgewiesen (vgl. BIERMANN & WICK 1997; KRÜGER 1998; KRÜGER 2005).

7.2.2 Die Ergebnisse des Trainingsexperiments

Zugfrequenzen

In beiden Gruppen (Test- und Kontrollgruppe) ist eine Erhöhung der Zugfrequenz von der 1. zu den drei anderen Messungen festzustellen, wobei nur bei der Testgruppe eine Signifikanz im Vergleich zur 2. und 4. Messung nachzuweisen ist. Die Entwicklung der Zugfrequenzen von der 1. bis zur 4. Messung ist bei beiden Gruppen gleich, was sich u. a. in den Differenzen (Test- vs. Kontrollgruppe) und den relativ stabil bleibenden p-Werten der Signifikanzanalyse (Test- vs. Kontrollgruppe) widerspiegelt.

Die Erhöhungen der Zugfrequenzen um rund 2 Schläge pro Minute in beiden Gruppen kann durch eine höhere Leistungsfähigkeit hervorgerufen worden sein. Dies wird jedenfalls durch die höheren Gesamtleistungen beider Gruppen für die 2., 3. und 4. Messung bestätigt.

Gesamt- und mittlere Leistungen

Die mittlere Gesamtleistung zeigt von der 1. zur 2. Messung eine signifikante Steigerung von 15,4 % für die Testgruppe und 8,4 % für die Kontrollgruppe. Die gestiegene mittlere

Gesamtleistung ist dann zur 3. Messung und dann wiederum zur 4. Messung nur geringfügig für beide Gruppen gefallen. Auffällig ist die Entwicklung des Unterschiedes zwischen den beiden Gruppen. Dieser wird von der 1. bis zur 3. Messung immer größer, statistisch kann bei der 3. Messung nur eine Tendenz mit einem Signifikanzniveau von $p = 0,0569$ nachgewiesen werden.

Eine gewisse Steigerung der mittleren Leistung vom Eingangstest zu den folgenden wurde zwar erwartet auf Grund einer spezifischen Anpassung im Laufe des Zugtraining am Armkraftzugerät, aber eine fast doppelt so große Steigerung bei den Probanden der Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe wurde nicht vermutet. Neben dem Unterschied bei den Belastungseinstellungen für die beiden Extremitäten erhielten die Probanden der Testgruppe beim Training ein Sofortfeedback über den am Trainingsgerät angeschlossenen Steuerungsrechner. Auf dem Bildschirm werden online für die linke und rechte Seite die Kraftkurven, die einzelnen Zykluswerte der Arbeit und der Zuglänge sowie die Gesamtarbeit und die Zugfrequenz dargestellt. Des Weiteren informiert ein sich ständig aktualisierendes Diagramm über den zeitlichen Verlauf der Gesamtarbeit. Die Probanden der Testgruppe mussten an zwei Armkraftzugeräten trainieren, die über solch einen Steuerungsrechner verfügten, da nur bei diesen zwei Geräten die unterschiedliche Einstellung für die beiden Extremitäten umgesetzt werden konnte. Für die Probanden der Kontrollgruppe standen insgesamt drei Armkraftzugeräte zur Verfügung, wovon nur eins über einen Steuerungsrechner mit einem Sofortfeedback verfügte. Ob das Sofortfeedback über den Steuerungsrechner die Ursache der unterschiedlich starken Steigerung bei der mittleren Gesamtleistung ist, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Es ist nur zu vermuten, dass es daran liegen könnte, denn weitere Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beim Zusatztraining gab es nicht.

Da Leistungsschwimmer auf Grund ihrer sensiblen Fähigkeiten unterschiedliche Einstellungen für die oberen Extremitäten bei der Belastungssteuerung sofort merken, konnte dieses Trainingsexperiment für die Probanden nicht verblindet durchgeführt werden. Vielleicht war dann auf Grund einer Gruppenzugehörigkeit (Test- oder Kontrollgruppe) auch eine unterschiedliche Motivation bei der Entwicklung der Leistungsfähigkeit ein entscheidender Faktor.

Bei den prozentualen Seitendifferenzen der mittleren Leistung ist im Eingangstest beim Vergleich der beiden Gruppen ein signifikanter Unterschied (Testgruppe 8,3 %, Kontrollgruppe 3,8 %) zu finden. Dieser Unterschied war nicht gewollt und ist auf Grund der randomisierten Gruppenzuordnung der Probanden zufällig entstanden. Bei den folgenden drei Messungen hat sich dieser Unterschied verringert, wobei dies auf eine Vergrößerung der Seitendifferenz in der Kontrollgruppe zurückzuführen ist. Erst bei der letzten Messung (Nachtest – vier Wochen nach dem Ende des Zusatztrainings) kann eine

Verringerung der prozentualen Seitendifferenz für die mittlere Leistung in der Testgruppe festgestellt werden (1. Mess.: $8,3 \pm 4,0 \%$; 4. Mess.: $7,4 \pm 3,5 \%$), wobei dies statistisch nicht abgesichert werden kann bei einem p-Wert von $p = 0,7078$. Der Anstieg der Seitendifferenz in der Kontrollgruppe von der 1. ($3,8 \pm 2,6 \%$) zur 4. Messung ($5,8 \pm 4,8 \%$) zeigt ein Signifikanzniveau von $p = 0,2649$.

Statistisch gesehen ergeben sich für die Test- sowie für die Kontrollgruppe keine Veränderungen der prozentualen Differenzen der mittleren Leistung nach einem Zusatztraining. Somit führte das Zusatztraining mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten zu keiner Verringerung der vorhandenen Seitigkeitsunterschiede in Bezug auf die mittlere Leistung.

Bei einer Betrachtung einzelner Testpersonen kann lediglich bei zwei der sieben Probanden der Testgruppe eine positive Entwicklung im Sinne einer Verringerung der Differenz nachgewiesen werden. So reduzierte sich die prozentuale Differenz der mittleren Leistung beim Pb. 01 von $11,8 \%$ auf $5,3 \%$ und beim Pb. 21 von $14,5 \%$ auf $3,5 \%$. Andererseits erhöhten sich die prozentualen Differenzen der mittleren Leistung beispielsweise beim Pb. 18, ebenfalls aus der Testgruppe, von $6,0 \%$ auf $10,4 \%$. Bei den Schwimmern Pb. 14 und 07 aus der Kontrollgruppe stiegen ebenso die Leistungsunterschiede an, obwohl diese nicht mit unterschiedlichen Belastungen für die beiden Seiten trainierten.

Warum nur bei zwei von sieben Probanden eine Verringerung der Seitendifferenz zu finden war, kann an dieser Stelle nicht eindeutig geklärt werden. Da allerdings auch in der Kontrollgruppe Probanden zu finden sind, die eine Vergrößerung oder eine Verringerung der Seitendifferenz zeigen, kann vermutet werden, dass das Zusatztraining mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die linke und rechte Seite die gleiche Wirkung bei dem Parameter „mittlere Leistung“ hat wie ein Zugtraining mit gleichen Einstellungen.

Ein positiver Effekt konnte über die Analyse des Zusammenhanges der linken mit der rechten Seite über die Korrelationskoeffizienten nachgewiesen werden. So stiegen bei den meisten Probanden der Testgruppe die Korrelationskoeffizienten bis zur 3. Messung bei gleichzeitig sich an Null annähernden bzw. relativ stabil bleibenden Bestimmtheitsmaßen, was als eine positive Anpassung an das Zusatztraining gedeutet werden kann. Das heißt, dass die beiden Extremitäten im selben Maße ermüden bzw. den gleichen Leistungsabfall über die 2 Minuten Testdauer zeigen. Bei der 1. Messung konnte noch ein stärkerer Abfall der Leistung auf einer Seite diagnostiziert werden. Dieser Effekt ist hauptsächlich bei der Testgruppe nachzuweisen.

Mittlere Kraft

Bei der mittleren Kraft ist ein ähnliches Bild wie bei der mittleren Leistung zu finden. Die mittlere Kraft steigt signifikant bei beiden Gruppen zur 2. Messung an und fällt dann relativ gering bis zur 4. Messung. Auch die Entwicklung der prozentualen Seitendifferenzen verläuft für beide Gruppen gleich. Erst bei der Analyse der Korrelationskoeffizienten in Verbindung mit den Bestimmtheitsmaßen ist ein positiver Trainingseffekt bei der Testgruppe nachzuweisen. Während die Korrelationskoeffizienten, welche über die Analyse des Zusammenhanges der linken mit der rechten Seite ermittelt wurden, bei der Kontrollgruppe über die vier Messungen relativ stabil bleiben, steigen bei allen sieben Probanden der Testgruppe diese bis zur 3. Messung an und fallen dann teilweise geringfügig in der 4. Messung. Das bedeutet, dass sich wie bereits bei der mittleren Leistung der Leistungsabfall über die Zeit für die beiden Extremitäten angeglichen hat und nicht mehr eine Extremität von einer stärkeren Ermüdung betroffen ist. Auch an dieser Stelle kann dies als ein Effekt des Trainings mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen angesehen werden.

Maximale Kraft

Bei der Betrachtung der Werte der maximalen Kraft können ebenfalls positive Entwicklungen aufgezeigt werden. Es können bei der Testgruppe signifikante Erhöhungen der maximalen Kraft von der 1. zu den folgenden drei Messungen nachgewiesen werden, was bei der Kontrollgruppe nicht der Fall ist. Ferner verändern sich die mittleren prozentualen Differenzen der beiden Gruppen im Verlauf in unterschiedlichen Richtungen. So fällt diese bei der Testgruppe von 5,5 % auf 3,1 % und steigt bei der Kontrollgruppe von 5,4 % auf 6,5 %. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der 4. Messung zeigt lediglich eine Tendenz bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,0755$. Auch bei den Korrelationskoeffizienten, welche über die Analyse des Zusammenhanges der linken mit der rechten Seite ermittelt wurden, in Verbindung mit den Bestimmtheitsmaßen kann im Rahmen der Einzelfallanalyse zusammenfassend postuliert werden, dass bei den meisten Probanden der Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe die Zusammenhänge der beiden Seiten über die 8wöchige Trainingsphase gestiegen sind.

Somit kann für die maximale Kraft geschlussfolgert werden, dass über das Training mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Extremitäten eine tendenzielle Verringerung der Seitendifferenz für die maximale Kraft provoziert werden konnte. Für eine signifikante Absicherung sind jedoch die Probandenzahl und/oder die Unterschiede zu gering. Somit ist zwar eine Tendenz nachzuweisen, aber eine statistische Absicherung bzw. Bestätigung dieses Ergebnisses muss noch über weitere Untersuchungen erbracht werden.

Zugwege

Durch das Training am AKZ mit unterschiedlichen Einstellungen für die linke und rechte Seite konnte die Testgruppe die anfangs signifikant größere Seitendifferenz bei den Zugwegen (im Vergleich zur Kontrollgruppe) für alle drei weiteren Messungen deutlich verringern. Am Ende der Trainingsphase gab es nur noch einen marginalen Unterschied zwischen der Test- und Kontrollgruppe. Des Weiteren sind die Zugwege der Testgruppe von der 1. Messung zur 2. größer und bei der Kontrollgruppe kleiner geworden, was allerdings statistisch nicht abgesichert werden kann. Signifikant ist dahingegen der Unterschied der Zugwege der beiden Gruppen bei der 2. und bei der 3. Messung.

Um eine Erhöhung der Zugfrequenz zu erzielen, verkürzten die Probanden der Kontrollgruppe den Zugweg. Wahrscheinlich war es nur dadurch diesen Probanden möglich gewesen, in Verbindung mit einer gering gestiegenen mittleren Kraft und kürzeren Zugzeit eine Erhöhung der mittleren und der Gesamtleistung zu erreichen.

Die signifikante Verringerung des Seitenunterschiedes beim Zugweg bei der Testgruppe sowie die längeren Zugwege der Testgruppe bei gleichzeitig kürzeren bei der Kontrollgruppe nach dem Trainingsexperiment kann dem Training mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Extremitäten (Testgruppe) zugeschrieben werden, denn beim alltäglichen Training haben beide Gruppen mit identischen Inhalten trainiert.

Zugzeiten

Bei den Zugzeiten ist bei der Test- und der Kontrollgruppe nur eine geringe Veränderung zu finden. Es sind zwischen den einzelnen Messungen keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen, erwähnenswert ist aber die geringe Verringerung der Zugzeit von der 1. zur 2. Messung bei beiden Gruppen, wohingegen die Verringerung der Zugzeit bei der Testgruppe ein wenig größer ausfällt. Die Seitendifferenzen der Zugzeiten verändern sich bei der Testgruppe minimal. Bei der Kontrollgruppe steigt die Differenz der beiden Seiten von der 3. zur 4. Messung signifikant an.

Nur bei der Einzelfallanalyse zeigt ein Proband der Testgruppe steigende Korrelationskoeffizienten, welche über die Analyse des Zusammenhanges der beiden Seiten für diesen Parameter ermittelt wurde, bis zur 4. Messung. Bei allen anderen Probanden der Testgruppe sowie der Kontrollgruppe bleiben alle Werte relativ stabil auf dem Ausgangsniveau oder schwanken um diesen. Aus diesem Grund ist für die Zugzeit kein Effekt des Zusatztrainings nachzuweisen. Die Zugzeiten bleiben über die gesamte Zeit des Experimentes relativ stabil. Wie konnte es dann aber zu einer Zugfrequenzsteigung kommen?

Es könnte an einer Verkürzung der Zeit für die Rückholphase und/oder an einer Verkürzung der Zeit von der vorderen Bewegungsumkehr bis zum Beginn des Durchzuges liegen. Bei der zweiten genannten Zeit konnte eine Verkürzung von der 1. zu der 2., 3. und 4. Messung aufgezeigt werden, welche allerdings nicht signifikant ist. Diese Verkürzung beträgt bei der Testgruppe für die linke Seite rund 31 ms (von 85 ms auf 54 ms) und für die rechte rund 27 ms (von 71 ms auf 44 ms). Die Zeiten der Rückholphasen wurden durch das Testsystem nicht mit erfasst, so dass keine Auswertung dieser Zeiten erfolgen kann.

Laktat vor und nach den Tests

Im Mittel konnten die vier Kraftausdauertests mit einem normalen Ruhelaktat von 1,4 – 1,6 mmol/l gestartet werden. Bei einer Einzelfallanalyse der Laktatwerte fallen aber die von einigen wenigen Probanden erhöhten Ruhe-Laktatwerte von über 2,0 mmol/l auf. Ein Grund könnten die von einigen Schwimmern absolvierten Wassertrainingseinheiten vor den Tests sein, auch wenn diese nur mit einer relativ geringen Intensität bewältigt wurden. Die dann planmäßig durchgeführte Pause von mindestens 30 Minuten vor den Tests scheint bei diesen Probanden nicht ausreichend gewesen zu sein, um einen Ruhe-Laktatwert von unter 2,0 mmol/l zu erzielen.

Des Weiteren ist ein signifikanter Abfall der Laktatwerte, die direkt nach der Belastung gemessen wurden, von Test 1 bis zum Test 4 zu verzeichnen. Die Laktatwerte „3 min nach Belastung“ zeigen hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tests trotz ebenfalls fallender Werte. Zumindest ist eine Tendenz nachzuweisen für die Vergleiche der Messungen 1, 2 und 3 vs. 4 (siehe Tab. 61 auf Seite 107). Erst bei getrennter Betrachtung beider Gruppen kann dieses Ergebnis hauptsächlich der Kontrollgruppe zugeschrieben werden. So können nur bei dieser Gruppe signifikante Verringerungen von der 1. Messung zu den folgenden für die Laktatwerte „nach Belastung“ nachgewiesen werden. Möglicherweise war die Leistungsbereitschaft der Probanden der Kontrollgruppe nicht ganz so hoch wie die der Testgruppe. Diese Vermutung wird ein wenig gestützt durch die generell niedrigeren Laktatwerte der Kontrollgruppe im Vergleich zur Testgruppe nach den Tests, welche nur für die Vergleiche bei der 2. und 4. Messung Tendenzen aufzeigen (2. Messung: $p = 0,0834$; 4. Messung: $p = 0,0933$). Da allerdings keine Überprüfung der Motivation der Probanden durchgeführt wurde, kann an dieser Stelle auch keine Klärung dieser Problematik aufgezeigt werden.

Bei einigen Probanden wurden nach den Tests Laktatwerte gemessen, die unter 5,0 mmol/l lagen. Vor allem sind dies Probanden, welche der Kontrollgruppe angehörten. Wie bereits beschrieben, kann eine Ursache ein Motivationsmangel sein, es kann aber auch als ein Ausdruck verminderter Glykogenreserven bzw. nahezu geleerter

Glykogenspeicher angesehen werden. Die letztere Vermutung wird durch die Tatsache gestützt, dass einige Probanden vor den Tests noch eine Wassertrainingseinheit absolvierten, auch wenn diese mit einer niedrigen Intensität durchgeführt wurde. Ein Zusammenspiel einer schlechten Erholung in der Nacht, ein intensives Training an den Tagen vor den Tests und eine Trainingseinheit vor der Messung kann zu einer Entleerung der Glykogenspeicher geführt haben. In solch einem Zustand ist es dem Körper trotz hoher Motivation nicht mehr möglich, viel Laktat zu produzieren, da nicht genügend Glykogen zur Verstoffwechselung für eine schnelle ATP-Resynthese zur Verfügung steht.

Da das Phänomen der relativ geringen Laktatwerte direkt und 3 Minuten nach den Kraftausdauertests hauptsächlich in der Kontrollgruppe zu finden ist, trifft die Vermutung einer verminderten Motivation bei diesen Probanden wahrscheinlich eher zu. Eine Glykogenverarmung kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Gesamtbetrachtung

Die teilweise signifikante Zugfrequenzerhöhung der Testgruppe mit einer signifikanten Erhöhung der Gesamtleistung, der mittleren und maximalen Kraft, des Zugweges und einer nicht signifikanten Verringerung der Zugzeit bis zur 3. Messung kann als ein Effekt des Trainings am Armkraftzuggerät gewertet werden. Dies ist auch bei der Kontrollgruppe zu finden, wobei jedoch größtenteils keine Signifikanzen nachzuweisen sind. Gefestigt wird die Aussage, dass es durch das Training am AKZ zu den Leistungssteigerungen gekommen ist, durch die gering niedrigeren Laktatwerte bei der 2. und 3. Messung. Die Einzelfallanalyse zeigt aber, dass nicht bei allen Probanden das Training einen positiven Effekt auf die Ergebnisse hatte. So konnte beispielsweise der Proband 19 (Testgruppe) mit der Zugfrequenzerhöhung seine mittlere Leistung nicht steigern.

Bei den Seitendifferenzen ist beim Vergleich der beiden Gruppen nur bei der maximalen Kraft und beim Zugweg eine positive und beim Zugweg auch signifikante Verringerung nachzuweisen. Bei der mittleren Leistung hat sich der anfangs vorhandene signifikante Unterschied der prozentualen Seitendifferenz zwischen den beiden Gruppen verkleinert. Somit konnte am Ende des Trainingsexperiments für die mittlere Leistung statistisch keine Signifikanz mehr nachgewiesen werden. Die beiden Gruppen haben sich in dieser Hinsicht angenähert. Dies ist allerdings auf die gestiegene Seitendifferenz der Kontrollgruppe zurückzuführen.

Sehr auffällig sind hingegen die Korrelationskoeffizienten, welche über die Analysen der Zusammenhänge der beiden Seiten für die jeweiligen untersuchten Parameter ermittelt wurden, in Verbindung mit den Bestimmtheitsmaßen (aus Seitendifferenz-Testzeit-

Beziehung) der Probanden der Testgruppe im Verlauf bis zu der dritten Messung. Die Korrelationskoeffizienten sind bei fast allen Probanden der Testgruppe gestiegen und zeigen sehr hohe Zusammenhänge zwischen den beiden Seiten. D.h., dass während des 2minütigen Kraftausdauerstests z. B. der Kraftabfall bei der linken so verlaufen ist wie bei der rechten Seite. Es zeigte also keine der beiden Seiten über die 2 Minuten Testzeitraum einen stärkeren Abfall in den Leistungswerten. Diese hohen Korrelationen konnten zum Teil bis zur vierten Messung, die vier Wochen nach dem Ende des Zusatztrainings stattfand, gehalten werden. Im Vergleich dazu sind die Korrelationskoeffizienten der Schwimmer aus der Kontrollgruppe nahezu konstant auf einem mittleren Niveau geblieben (bei zwei Schwimmern leicht gefallen). Der Befund der Testgruppe kann als ein Trainingseffekt angesehen werden, was dem Training mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten zuzuordnen ist.

Ausschlaggebend für die statistisch kaum nachzuweisenden Effekte ist neben der geringen Probandenanzahl unter anderem der geringe Umfang des Zusatztrainings im Vergleich zu den Trainingseinheiten im Wasser und an Land. Mit zweimal 8 x 2 Minuten (32 Minuten) bzw. 8 x 1 Minute (16 Minuten) bei einem Trainingspensum von 18 - 24 Stunden pro Woche, stellt das Zugtraining keinen ausreichend großen Reiz im Vergleich zu dem im Trainingsplan vorgegebenen Land- und Wassertraining dar. Des Weiteren ist beim Zugtraining eine gering unterschiedliche Motivation der Schwimmer aufgefallen. Beispielsweise war der Schwimmer Pb. 01 hoch motiviert und seine Trainingsserien wurden mit einer sehr hohen Qualität aber auch mit einer guten Intensität absolviert. Dies zeigte zwar auch der Schwimmer Pb. 18, bei diesem Probanden sind die Leistungsdifferenzen über den Testzeitraum aber nicht gefallen wie bei Pb. 01, sondern gestiegen. Da allerdings die Motivation der Probanden bei den einzelnen Trainingseinheiten sowie bei den Tests nicht erhoben wurde, beispielsweise über psychologische Fragebögen, kann an dieser Stelle auch keine detaillierte Aussage bzw. eine begründete Annahme dazu getroffen werden.

Es stellt sich die Frage, ob (nur) solch ein Zusatztraining die gewünschten Effekte überhaupt hervorruft. Bei 2 von 7 Schwimmern konnte dies durch sinkende Differenzen nachgewiesen werden. Vermutlich sind gewisse Schwankungen der Seitendifferenzen der Kraft- und Leistungswerte im Trainingsverlauf normal. Dies konnte zumindest bei einer Längsschnittuntersuchung bei Schwimmern gezeigt werden, die im Laufe ihrer sportlichen Karriere mehrere komplexe Leistungsdiagnostiken am IAT absolviert haben (siehe Kapitel „3.2 Untersuchungen am IAT“ ab Seite 46). Auch in anderen zyklischen Sportarten, wie es der Kanurennsport ist, wurden Schwankungen bei den Seitendifferenzen in den untersuchten Leistungsparametern nachgewiesen (vgl. KRÜGER 2005).

Das Trainingsexperiment hat gezeigt, dass eine Verringerung der Leistungsdifferenz der beiden Seiten durch ein Zusatztraining der Testgruppe an einem Zugergometer, bei dem unterschiedliche Belastungen für die beiden Seiten eingestellt wurden, im Umfang von zweimal 8 x 2 Minuten bzw. 8 x 1 Minute nicht realisiert werden konnte. Nur bei 2 von 7 Leistungsschwimmern aus der Testgruppe verringerte sich die Seitendifferenz nachweislich. Allerdings stieg diese in vergleichbarem Maße bei anderen Probanden aus der Testgruppe.

Insgesamt konnte als ein Trainingseffekt der unterschiedlichen Belastungseinstellungen nur die Anpassung der Leistungs- und Kraftabnahmen der schwächeren Seite über den 2minütigen Zeitraum des Kraftausdauerstests an die stärkere nachgewiesen werden. Am Ende des Trainingsexperiments waren die Leistungsabnahmen bei den beiden oberen Extremitäten bei fast allen Probanden der Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe gleich, was über die gestiegenen und am Ende (sehr) hohen Korrelationskoeffizienten mit gleichzeitig sich an Null annähernden Bestimmtheitsmaßen untermauert wird.

Allerdings muss der Gesamttrainingsumfang berücksichtigt werden, ebenso wie die Qualität des Trainings und die Motivation der Athleten. Eventuell müssen zusätzliche Maßnahmen beim normalen Trainingsbetrieb getroffen werden, um einen Trainingseffekt zu sichern. Dies könnte z. B. der Einsatz von unterschiedlich großen Paddles beim Wassertraining sein (links und rechts unterschiedliche Größen und somit unterschiedliche Widerstände). Vielleicht waren die Seitendifferenzabnahmen der beiden Leistungsschwimmer auch nur möglich gewesen, weil die beiden Probanden sensibilisiert waren über das Zusatztraining und ihre Gruppenzugehörigkeit und haben im normalen Trainingsbetrieb bei den Bewegungsausführungen sich auf die schwächere Seite konzentriert und diese bewusst oder auch unbewusst stärker gefordert.

Dieses Trainingsexperiment hat gezeigt, dass es schwer bzw. nicht möglich ist, bei hoch trainierten Leistungsschwimmern gewünschte Trainingseffekte durch ein zeitlich geringes Zusatztraining zu erzielen bzw. nachzuweisen. Gründe sind das sehr hohe Trainingspensum dieser Athleten und das dadurch vorhandene hohe Leistungsvermögen mit den dementsprechenden geringen Leistungsreserven. Des Weiteren ist bei geringen Veränderungen bei kleinen Untersuchungsgruppen statistisch keine Signifikanz nachzuweisen.

Außerdem können auf Grund von zu großen zeitlichen Abständen von offiziellen Wettkämpfen vor sowie nach dem Trainingsexperiment keine Veränderungen der Wettkampfzeiten eindeutig dem Zusatztraining zugeordnet werden.

7.3 Auswertung der Trainingsdaten des Schwimmers Pb. 18

Der Leistungsschwimmer Pb. 18 gehörte der Testgruppe an und trainierte dementsprechend mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten. Aufgrund seines Trainingsplans und seiner Lagenspezifik (Lagenschwimmer) trainierte er am AKZ die 8 x 2 Minuten in den Zugstilen „Freistil“ und „Schmetterling“ in alternierender Reihenfolge (2 min F, 2 min S, 2 min F usw.). Die Konstruktion des Armkraftzuggerätes, auf dem dieser Schwimmer trainierte, machte es möglich, alle Trainingsdaten im Steuerungs- und Analyserechner abzuspeichern und im Nachgang auszuwerten. Zuerst sollen aber Auswertungen von Tests dargestellt und diskutiert werden, welche am IAT mit Hochleistungsschwimmern durchgeführt wurden.

Für die Auswertungen wurden von den IAT-Daten insgesamt 39 Tests einbezogen. Es wurde im Zugstil „Schmetterling“ gezogen. Die Testdauer betrug 1 oder 2 Minuten und es wurden weibliche sowie männliche Probanden eingeschlossen. Diese Daten sollen verglichen werden mit Ergebnissen von insgesamt 43 Tests (ebenfalls IAT-Daten), die mit dem Zugstil „Kraul“ absolviert wurden. In der Tab. 17 (Seite 50) sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

Mit Ausnahme der Ergebnisse des Zugweges bei Freistil und der Zugzeit bei Schmetterling zeigen alle anderen im Vergleich zwischen der stärkeren und der schwächeren Seite signifikante Unterschiede. Der Zugstil Schmetterling ist also durch eine identische Zugzeit für die beiden Seiten gekennzeichnet, wobei die Zugwege unterschiedlich sind. Bei der Zugart „Freistil“ (Kraul) wiederum sind die Zugwege der beiden Seiten nahezu gleich bei gleichzeitiger Differenz der Zugzeit. Dieser Unterschied in den Zugstilen ist bedingt durch die Symmetrie der Zugbewegung der Arme, also die zeitliche Bewegungssynchronizität beim Schmetterlingsschwimmen. Beim Kraulen ist solch eine hohe Symmetrie nicht von so großer Bedeutung, da es sich um eine alternierende Bewegung handelt.

Auch bei einer Längsschnittuntersuchung (aus den Daten vom IAT) fallen Unterschiede zwischen den beiden Zugstilen auf. So ist die prozentuale Differenz der mittleren Leistung beim Schmetterling nur halb so groß wie beim Zugstil „Kraul“, wie es in Abb. 21 (Seite 56) zu sehen ist. Bei diesen Unterschieden sind aber keine Signifikanzen nachzuweisen.

Die analysierten Daten des Probanden 18 basieren auf dem Training am Armkraftzuggerät und nicht auf einem Kraftausdauer-test, der nur einmal durchgeführt wird. Beim Training zog der Proband 8 x 2 min. am AKZ, wobei er die Zugstile „Freistil“ und „Schmetterling“ alternierend wechselte (2 min F, 2 min S, 2 min F usw.). Außerdem

trainierte dieser Proband mit unterschiedlichen Einstellungen für die beiden Seiten – links wurden 5 % mehr Belastung eingestellt.

Bei der Analyse der Trainingsdaten sind die Ergebnisse der Parameter mittlere Kraft und mittlere Leistung sehr auffällig. Beim Freistil waren die erreichten Leistungs- und Kraftwerte der rechten Seite größer als die der linken. Beim Schmetterling allerdings zeigte der Proband auf der linken Seite die größeren Werte. Bei den Parametern Zugzeit und max. Geschwindigkeit sind die Differenzen zwischen den beiden Seiten beim Schmetterling im Vergleich zum Freistil geringer. Es kann aus diesen Daten geschlossen werden, dass durch das Training mit unterschiedlichen Einstellungen für die beiden Seiten und durch die Zugart „Schmetterling“ eine Erhöhung der Werte der mittleren Kraft sowie die der mittleren Leistung auf der schwächeren Seite im Vergleich zur Zugart „Freistil“ provoziert wurde. Die Differenzen der beiden Seiten sind beim Zugstil „Schmetterling“ für die Parameter Zugzeit, max. Geschwindigkeit und mittlere Leistung geringer als beim Freistil.

Auf Grund der Ergebnisse der Trainingsdatenanalyse wäre auch ein intraindividueller Vergleich der Seitendifferenzen bei Kraftausdauertests zwischen zwei unterschiedlichen Zugstilen interessant. Die beiden Messungen sollten dann allerdings nicht mehr als 7 Tage auseinander liegen, um trainingsbedingte Veränderungen der Kraft-, Schnelligkeits- und Ausdauerfähigkeiten ausschließen zu können. Dies kann leider aus den Daten vom IAT nicht ermittelt werden, da die Schwimmer mit einem Abstand von ca. 6 Monaten an einer komplexen Leistungsdiagnostik teilgenommen haben, also 2 KA-Tests pro Jahr durchlaufen. Auch aus den Daten des eigenen Experimentes ist solch eine Analyse nicht möglich, da die Tests alle mit dem Zugstil „Kraul“ absolviert wurden.

Die erhobenen und ausgewerteten Daten des Schwimmers Pb. 18 haben gezeigt, dass durch ein Armkraftzugtraining mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen in Kombination mit dem Zugstil „Schmetterling“ höhere Leistungswerte auf der schwächeren Seite erzielt werden können. Daher stellt sich die Frage, ob auch dadurch die schwächere Seite auftrainiert und der stärkeren angeglichen und eine vorhandene Seitendifferenz verringert werden könnte.

Allerdings zeigte gerade dieser Proband im Verlauf der Trainingsphase bei den Tests eine Erhöhung der Seitendifferenzen. Dies ist aber verbunden mit einer gleichzeitigen Erhöhung der Korrelationskoeffizienten und sich an Null annähernden Bestimmtheitsmaße. Das bedeutet, dass zwar die prozentualen Seitendifferenzen gestiegen sind, aber die Leistungswerte der beiden Seiten sich im Verlauf der 2minütigen Kraftausdauertests im selben Maße verändern. Auch dies kann als ein positiver Effekt

angesehen werden, da bei der schwächeren Seite eine Verbesserung im Kraftausdauerbereich zu verzeichnen war.

An dieser Stelle müssen die Fragen aufgeworfen werden: Erzielt ein solches Zugtraining bessere Ergebnisse, wenn mit dem Zugstil „Schmetterling“ gezogen wird? Vielleicht kann ja auch ein Zusatztraining nur für die schwächere Seite eine Verringerung einer vorhandenen Seitendifferenz herbeiführen? Diese Fragen können hier nicht beantwortet werden und bedürfen weiterer Untersuchungen.

7.4 Methodenkritik

Ergänzend zu den bereits erfolgten methodenkritischen Betrachtungen der einzelnen Mess-, Untersuchungs- und Trainingsverfahren innerhalb der Diskussion, sind in der Bewertung der Ergebnisse dieser Arbeit noch nachfolgende Bedingungen zu berücksichtigen.

Auf Grund des komplexen Untersuchungsdesigns mit dem hohem zeitlichen Untersuchungs- und Trainingssaufwand wurde nur eine verhältnismäßig kleine Gruppe von insgesamt 22 Hochleistungsschwimmern untersucht. Die Probandengruppe stellte eine regionale Auswahl von Hochleistungsschwimmern in und um Berlin dar. Eine gewisse Inhomogenität innerhalb dieser Gruppe war durch das Trainingsalter und u. a. die damit verbundene Leistungsfähigkeit gegeben, welche als Kaderzugehörigkeit zum Ausdruck kommt.

Schwierig war die zeitliche Planung des Trainingsexperimentes für die zwei Trainingsgruppen im Hinblick auf die Jahrsplanung der Trainer und die damit verbundenen Trainings- und Wettkampfplanungen. Die zeitliche Integration des 8wöchigen Zusatztrainings und die damit verbundenen Tests im Strömungskanal sowie die Kraftausdauer tests am Armkraftzuggerät (Ausbelastungstests) konnten nur mit Kompromissen umgesetzt werden. Aus diesem Grund können keine Aussagen zu Veränderungen von Kraftfähigkeiten gemacht werden, die über Messungen im Strömungskanal erhoben wurden. Der Grund dafür sind die Messungen mit einer Strömungsgeschwindigkeit von nur $u = 1,6 \text{ m/s}$. Eine Strömungsgeschwindigkeit, die im Mittel der maximalen Schwimmgeschwindigkeit auf 100 m Kraul entspricht, sollte für zukünftige Diagnosen genutzt werden. Des Weiteren führten einige Schwimmer auf Grund der Reihenfolgen bei den Kraftausdauer tests zuvor noch ein Wassertraining durch, auch wenn dieses mit einer niedrigen Intensität absolviert wurde. Eine Pause von mindestens 30 Minuten vor dem Kraftausdauer test war dann allerdings Bedingung.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die meisten angewendeten Mess- und Untersuchungsparameter nicht hinreichend gut einzelne Einflussfaktoren selektieren können. Somit kann eine Ursache bestimmter Ergebnisse zwar vermutet, aber nicht schlüssig aufgedeckt werden. Beispielsweise kann die Motivation einen gewissen Einfluss auf die Trainings- und Testleistung haben. Da diese aber nicht einfach zu erfassen ist und dies in diesem Trainingsexperiment nicht durchgeführt wurde (was auch nicht Frage der Untersuchung war), kann dieser Einfluss nicht abschließend geklärt werden.

7.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie belegen, dass über ein Zusatztraining an einem Armkraftzuggerät mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten keine signifikanten Verringerungen von Seitigkeitsunterschieden erreicht werden können. Zwar konnten zwei Probanden der Testgruppe ihre Seitendifferenzen nachweislich verkleinern, allerdings vergrößerten sich diese im selben Zeitraum bei anderen Probanden der Testgruppe.

Seitenunterschiede lassen sich bei einer Diagnostik in einem Strömungskanal nachweisen. Die einzustellende Strömungsgeschwindigkeit sollte dabei der mittleren Schwimmgeschwindigkeit auf 100 m bei maximaler Leistung in der jeweiligen Schwimmart entsprechen. In der vorliegenden Studie konnten auf Grund von zu gering eingestellten Strömungsgeschwindigkeiten keine Seitendifferenzen in der Leistungsfähigkeit der linken und rechten Extremität nachgewiesen und dementsprechend auch keine Veränderungen im zeitlichen Verlauf des Trainingsexperiments erfasst werden.

Über die Wettkampfzeiten der einzelnen Athleten konnten ebenfalls keine Effekte des Zusatztrainings im Sinne einer Verbesserung (höhere Schwimmgeschwindigkeit) aufgezeigt werden. Für eine Verbesserung oder auch für eine Verschlechterung eines Individuums ist es meistens schwer, eine Ursache zu finden. Meist sind mehrere Faktoren ausschlaggebend für solche Entwicklungen.

Ob nun ein Zusatztraining am AKZ mit dem Zugstil „Schmetterling“ zu besseren Ergebnissen führt als mit „Kraul“, konnte noch nicht geklärt werden. Aus diesem Grund wird vorerst ein Training in der Zugart der Hauptlage empfohlen. Wenn angestrebt wird, Lateralitäten durch ein Zusatztraining zu verringern, sollte versucht werden, zusätzlich im allgemeinen Training gewisse Übungen zu integrieren, die einen ähnlichen Effekt haben. Beispielsweise kann hier das Schwimmen mit Paddles genannt werden, wobei der von der

einen Hand größer ist als der der anderen. Somit kann der Trainingsumfang mit unterschiedlichen Belastungen der beiden Seiten erhöht werden.

8 Zusammenfassung

Problemstellung

Die Resultate veröffentlichter Studien zur Lateralität (im Sport), die Ergebnisse der Auswertungen von IAT-Daten sowie Ergebnisse eigener Untersuchungen zeigen, dass nicht nur in azyklischen sondern auch in zyklischen Sportarten bei den Athleten Seitenunterschiede zu finden sind. Bei den azyklischen Sportarten sind diese vom Ausmaß und von der Charakteristik der Sportart und Disziplin abhängig wie es beispielsweise beim Kugelstoßen, Speerwurf und Hochsprung der Fall ist. Dagegen zeigen sich bei den zyklischen Sportarten wie dem Schwimmen (u. a. WITT & HERMSDORF 2006) und dem Kanurennsport (u. a. KRÜGER 2005) eher keine typischen Abhängigkeiten. Bei diesen Sportarten scheinen die Ausprägungen von Lateralitäten vielmehr individueller Natur zu sein. Wenn die Seitenunterschiede bei den Athleten von zyklischen Sportarten, wie z. B. dem Schwimmen, nicht durch die Sportart selbst manifestiert sondern individuelle Erscheinungen sind, ist es dann möglich, diese Seitenunterschiede im laufenden Training durch ein zusätzliches Krafttraining an Land zu verringern und damit die Wettkampfleistung zu verbessern? Aus diesem Grund wurden für diese Arbeit folgende Frage und die damit verbundenen Problemfelder näher untersucht: Kann ein Krafttraining an einem Seilzugergometer mit der Einstellung einer höheren Belastung für die schwächere Seite einen Seitenunterschied verringern oder sogar beseitigen oder zeigt solch ein Training keine Wirkung? Lassen sich die innerzyklischen Unterschiede der Geschwindigkeitsmaxima beim Kraulschwimmen im Wasser beim Vergleich zwischen Armzug rechts zu links auf Grund des speziellen Krafttrainings im Längsschnitt über einen Zeitraum von 8 Wochen und im Vergleich zu einer Kontrollgruppe verringern?

Kurzbeschreibung der Studie

In einem Trainingsexperiment absolvierten insgesamt 22 Leistungsschwimmer zweimal die Woche über einen Zeitraum von 8 Wochen ein Zugtraining an einem Armkraftzuggerät. 8 Probanden (Testgruppe) zogen mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die linke und rechte Seite und 14 mit gleichen Einstellungen (Kontrollgruppe). Am AKZ wurden die Wege, die Zeiten sowie die produzierten Kräfte für die linke und rechte Seite gemessen. Diese gemessenen Daten dienten als Basis für die Berechnung der Parameter Zug- bzw. Schlagfrequenz, Zugweg, Zugzeit, maximale Geschwindigkeit, mittlere Kraft, Kraftmaximum und innerzyklische Leistung. In einem Strömungskanal wurden die innerzyklischen Geschwindigkeitsschwankungen beim

Kraulschwimmen gemessen, um die Beschleunigungsanteile der beiden oberen Extremitäten und somit eine eventuelle Seitendifferenz zu bestimmen. Für die statistische Auswertung wurden die Mittelwerte, die Standardabweichungen sowie die Häufigkeiten berechnet, ferner wurden die Unterschiede auf Signifikanz ($p < 0,05$) überprüft. Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe des t-Tests für gepaarte bzw. für unabhängige Stichproben. Des Weiteren wurden Korrelationsanalysen zwischen den beiden Seiten der oberen Extremität durchgeführt und die Bestimmtheitsmaße diverser Parameter für die 2minütige Testdauer berechnet.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Trainingsexperimentes zeigen kein eindeutiges Resultat. Von den 7 Probanden der Testgruppe (1 Dropout) konnte nur bei 2 Probanden (Pb. 01 und 21) ein positiver Effekt des Trainings am AKZ mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten mit einer Verringerung eines Seitenunterschiedes nachgewiesen werden. So reduzierten sich beispielsweise beim Pb. 01 die Differenzen der mittleren Leistung (von 11,8 % auf 5,3 %), der mittleren Kraft (von 8,5 % auf 4,0 %) und der maximalen Kraft (von 9,7 % auf 1,5 %) sowie die des Zugweges (von 2,1 % auf 0,5 %). Die anderen Probanden der Testgruppe zeigten bei den gemessenen Parametern (bis auf den Zugweg) keine eindeutige Abnahme der absoluten bzw. prozentualen Seitenunterschiede, teilweise waren sogar Differenzvergrößerungen zu finden. Die Probanden der Kontrollgruppe (10 ausgewertet, 4 Dropouts), die mit denselben Belastungseinstellungen für die beiden Seiten trainierten, zeigen ein sehr heterogenes Bild bei den erreichten Ergebnissen. Während bei sechs Probanden die erreichten Resultate relativ stabil blieben, stiegen die Differenzen bei den anderen vier Probanden in unterschiedlichen Messungen an.

Insgesamt kann keine signifikante Verringerung des anfangs vorhandenen Seitenunterschiedes bei der Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Positiv zu bewerten sind jedoch die gestiegenen Korrelationskoeffizienten, welche über die Analysen des Zusammenhanges der beiden Seiten für die diversen Parameter ermittelt wurden, bei gleich bleibenden bzw. sich an Null annähernden Bestimmtheitsmaßen im Verlauf des Trainingsexperimentes. Bei den Probanden der Kontrollgruppe blieben die Korrelationskoeffizienten über das gesamte Trainingsexperiment auf demselben Niveau.

Bei den Messungen im Strömungskanal konnten bei allen Probanden bei der relativ geringen Strömungsgeschwindigkeit von $u = 1,6 \text{ m/s}$ keine Unterschiede beim Durchzug der Arme gemessen werden, weder bei der Ausgangs- noch bei den darauf folgenden Messungen.

Bei einer nachträglichen Trainingsdatenanalyse des Schwimmers Pb. 18 konnte festgestellt werden, dass über den Zugstil Schmetterling auf der schwächeren Seite, wo höhere Belastungen eingestellt waren, auch höhere Leistungswerte provoziert wurden als bei der Zugart Kraul. Andererseits waren die Leistungswerte beim Schmetterling auf der schwächeren Seite größer als auf der stärkeren, was bei Kraul nicht der Fall war. Dort zeigte die stärkere Extremität höhere Werte.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie belegen, dass über ein Zusatztraining an einem Armkraftzuggerät mit unterschiedlichen Belastungseinstellungen für die beiden Seiten keine signifikanten Verringerungen von Seitigkeitsunterschieden zu erzielen waren. Zwar konnten zwei Probanden der Testgruppe ihre Seitendifferenzen nachweislich verkleinern, allerdings vergrößerten sich diese im selben Zeitraum bei anderen Probanden der Testgruppe.

In der vorliegenden Studie konnten auf Grund von zu gering eingestellten Strömungsgeschwindigkeiten keine Seitendifferenzen in der Leistungsfähigkeit der linken und rechten Extremität nachgewiesen und dementsprechend auch keine Veränderungen im zeitlichen Verlauf des Trainingsexperimentes erfasst werden. Daher sollte die einzustellende Strömungsgeschwindigkeit im Strömungskanal der mittleren Schwimmgeschwindigkeit auf 100 m bei maximaler Leistung in der jeweiligen Schwimmart entsprechen.

Ob nun ein Zusatztraining am AKZ mit dem Zugstil „Schmetterling“ zu besseren Ergebnissen führt als mit „Kraul“, konnte noch nicht geklärt werden. Aus diesem Grund wird vorerst ein Training in der Zugart der Hauptlage empfohlen. Wenn angestrebt wird, Lateralitäten durch ein Zusatztraining zu verringern, sollte versucht werden, zusätzlich im allgemeinen Training gewisse Übungen zu integrieren, die einen ähnlichen Effekt haben. Beispielsweise kann hier das Schwimmen mit unterschiedlich großen Paddles genannt werden, wobei auf die schwächere Seite ein größerer zur Erhöhung der Trainingsbelastung verwendet wird. Somit kann der Trainingsumfang mit unterschiedlichen Belastungen der beiden Seiten erhöht werden.

Literatur

- Amunts, K.; Schlaug, G.; Jäncke, L.U.A. (1997): Motor Cortex and Hand Motor Skills: Structural Compliance in the Human Brain. *Human Brain Mapping* 5 (3) 206-215
- Amunts, K.; Jäncke, L.; Mohlberg, H.U.A. (2000): Interhemispheric asymmetry of the human motor cortex related to handedness and gender. *Neuropsychologia* 38 (3) 304-312
- Annett, M. (1985): *Left, right, hand and brain: The right shift theory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Annett, M.; Alexander, M.P. (1996): Atypical cerebral dominance: Predictions and tests of the right shift theory. *Neuropsychologia* 34 (12) 1215-1227
- Bäumler, G.; Schneider, K. (1981): *Sportmechanik*. München: BLV
- Bieder, A.; Ungerechts, B.E. (1995): Muskelkraftungleichgewichte in der Schultermuskulatur jugendlicher Leistungsschwimmer. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 46 (4) 204-212
- Biermann, U.; Wick, D. (1997): Leistungsdiagnostische Ergebnisse von Untersuchungen im Nachwuchsbereich des Kanurennsports. In: Hirtz, P.; Nüske, F. (Hrsg.): *Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet*. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft. Hamburg: Czwalina. 87, 170-176
- Blakeslee, Th.R. (1982): *Das rechte Gehirn: das Unbewußte und seine schöpferischen Kräfte*. Freiburg: Auum Verlag
- Block, I.; Discher, D.; Froeschels, E. (1957): Tonguedness. *Folia Phoniatri* 9 (1) 49-53
- Bragina, N.N., Dobrochotowa, T.A. (1984): *Funktionelle Asymmetrien des Menschen*. Leipzig: Georg Thieme
- Broca, P. (1865): Sur la faculté de langage articulé. *Bulletin de la Société d'Anatomique de Paris* (6) 493-494
- Brockhaus (2000): *Der Brockhaus in einem Band*. 9. Auflage. Mannheim: Verlag F.A. Brockhaus GmbH
- Bryden, M.P. (1989): Handedness, cerebral lateralization, and measures of "latent left-handedness". *International journal of neuroscience* 44, 227-233
- Cacioppo, J.T.; Petty, R.E. (1981): Lateral asymmetry in the expression of cognition and emotion. *Journal of experimental psychology / Human percept and perform* 7 (2) 333-341

- Corballis, M.C. (1989): Laterality and Human Evolution. *Psychological Review* 96 (3) 492-505
- Coren, S. (1989): Left-handedness and accident-related injury risk. *American Journal of Public Health* 79 (8) 1040-1041
- Coren, S. (1993): The lateral preference inventory for measurement of handedness, footedness, eyedness, and earedness. *Bulletin of the Psychonomic Society* 31 (1) 1-3
- Dax, M. (1865): Lésion de la moitié gauche de l'encéphale coïncident avec l'oubli des signes de la pensée. (lu a Montpellier en 1836) *Gaz. Hebdom* 2 (11) 259-260
- Demarest, J.; Demarest, L. (1980): Does the „torque test“ measure cerebral dominance in adults? *Percept and motor skills* (50) 155 – 158
- Drenkow, E. (1960): Zum Problem der beidseitigen Ausbildung im Sport, I. Teil. Theorie und Praxis der Körperkultur 9 (12) 1084-1092
- Duden (2005): Das Fremdwörterbuch. 8. Auflage. Mannheim [CD-Rom]
- Duden (2006): Die deutsche Rechtschreibung. 24. Auflage. Mannheim [CD-Rom]
- Fetz, F. (1969): Grundbegriffe der Bewegungslehre der Leibesübungen. Frankfurt: Limpert
- Fetz, F.; Mader, Ch. (1979): Drehseitigkeit als Lateralitätsproblem bei Drehungen. *Praxis der Leibesübungen* 20 (6) 111-112, (7) 131-132
- Fetz, F.; Werner, I. (1981): Trainingsbedingte Ausprägung der Drehseitigkeit. *Leibesübung/Leibeserziehung* 35 (6) 131-136
- Fetz, F. (1993): Beinigkeitsdominanz. *Sportwissenschaft* 24 (3) 267-283
- Fischer, K. (1988): Rechts-Links Probleme im Sport und Training - Studien zur angewandten Lateralitätsforschung. Schorndorf: Hofmann
- Fischer, K. (2003): Hemisphärendominanz. In: Röthig, P.; Prohl, R. U. A. (Hrsg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon*. 7. Auflage. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann. 250-251
- Freitag, W. (Hrsg., 2000): Schwimmen Lernen und Optimieren – komplexe Leistungsdiagnostik im DSV. Band 17
- Haaland, K.Y.; Harrington, D.L. (1996): Hemispheric asymmetry of movement. *Current Opinion in Neurobiology* 6 (6) 796-800
- Hahn, A. (Hrsg., 2003): Von den Halloren zur Gegenwart des Schwimmsports. Hamburg: Verlag Dr. Kovač

- Hellebrand, F.A.; Hotz, S.J. (1950): Influence of bimanual exercise on unilateral work capacity. *Journal of applied physiology* 2, 446-452
- Hermisdorf, M.; Wolff, R. (2002): Experimentelle Untersuchung zu Muskelaktivitäten während des Schwimmens im Strömungskanal und im Freiwasser sowie beim Krafttraining auf der Armkraftzugbank bei Hochleistungsschwimmern in Abhängigkeit ihrer Hauptstreckenlänge. Unveröffentlichter Endbericht zum Forschungsvorhaben
- Hermisdorf, M.; Wolff, R. (2003): Muskelaktivitäten während des Kraulschwimmens im Strömungskanal und im Freiwasser sowie beim Krafttraining auf der Armkraftzugbank bei Leistungsschwimmern. 3. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomechanik. München
- Hermisdorf, M.; Wolff, R. (2005): EMG-Untersuchung bei Leistungsschwimmern während des Kraulschwimmens im Strömungskanal und im Freiwasser sowie beim Krafttraining auf der Armkraftzugbank. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 56 (7/8) 256
- Hermisdorf, M.; Wolff, R. (2006): Untersuchungen zur Stabilität von Seitigkeitsunterschieden in einem Kraftausdauer-test bei Schwimmern. 7. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft. Bad Sassendorf
- Hoogmartens, M.J.; Caubergh, M.A.A. (1987): Chewing side preference during the first chewing cycle as a new type of lateral preference in man. *Electromyography and clinical neurophysiology*. 27 (1) 3-6
- Hühne, M. (1979): Untersuchungen zur Präferenz- und Leistungsdominanz der Beine. unveröffentlichte Examensarbeit. Sonderpäd. Marburg
- Jackson, J.H. (1880): On aphasia with left hemiplegia. *Lancet* 1, 637-638
- Jäncke, L. (2000). Das Corpus callosum und der interhemisphärische Informationsaustausch: Ein Mysterium? - Kommentar. *Zeitschrift für Neuropsychologie*. 11 (4) 216-219
- Jäncke, L. (2001). Was ist so Besonderes an den Gehirnen von professionellen Musikern? *Zeitschrift für Medizinische Psychologie*. 10 (3) 107-114
- Jäncke, L. (2003a): Hirnanatomische Asymmetrien. In: Karnath, H.O.; Thier, P. (Hrsg.): *Lehrbuch der Neuropsychologie*. Berlin: Springer-Verlag, 625-634
- Jäncke, L. (2003b): Funktionelle Links-Rechts Asymmetrien. In: Karnath, H.O.; Thier, P. (Hrsg.): *Lehrbuch der Neuropsychologie*. Berlin: Springer-Verlag, 635-645

- Jendrusch, G.; Gralla, V.; Barmus, U.; Henke, Th.; Masuhr, D.; Schmidinghoff, U.; Seibt, R.; Wagner, J.; Zappala, M.; De Marees, H. (1997): Aspekte des Techniktrainings im Rennrudern. In: Nitsch, J.R.; Neumaier, A.; Marees, H. de; Mester, J. (Hrsg.): Techniktraining. Schorndorf: Hofmann 312-368
- Kaiser, L. (1970): Einfluss des statischen Isometrischen Muskeltrainings auf die lokale Kraft- und Ausdauerentwicklung der trainierten und der nichttrainierten Muskulatur. unveröffentlichte Diplomarbeit, DSHS Köln
- Kamper, E. (1985): Die meisten Läufer mit Linksdrall. Olympisches Feuer. (4) 46-47
- Kempf, D.B. (1976): Die Gaumensegelfunktion und ihre Beziehung zur Lateralität des Menschen - Ein Beitrag zum Problem der Seitigkeit. Dissertation. Thesis—Universität Tübingen
- Kim, S.-G.; Ashe, J.; Hendrich, K.; Ellermann, J.M.; Merkle, H.; Uğurbil, K.; Georgopoulos, A.P. (1993): Functional Magnetic Resonance Imaging of Motor Cortex: hemispheric Asymmetry and Handedness. Science. Vol. 261, 615-617
- Knoll, W. (1954): Vererbte und erworbene Seitigkeit. Gedanken zum Rechts-Links-Problem. Deutsche medizinische Wochenschrift 79 (23) 819
- Krüger, T. (1998): Lateralität in zyklischen Sportarten am Beispiel von Nachwuchsathleten im Kanurennsport. unveröffentlichte Diplomarbeit Universität Potsdam, Institut für Sportwissenschaft. Potsdam: unveröffentlicht.
- Krüger, T. (2005): Zum Einfluss der Lateralität in zyklischen Sportarten bei Nachwuchsathleten. Dissertation, Potsdam. URL: <http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=977263126> [Stand: 03. Dezember 2008]
- Kuhn, W. (1986): Kontralateraler Transfer – Befunde und theoretische Erklärungsansätze. Sportwissenschaft. 16 (4) 422-442
- Kuhn, W. (1987): Zum Phänomen des kontralateralen Transfers. Köln: bps-Verlag
- Landgraf, F.K. (1963): Über das Rechts-Links-Problem in der Leichtathletik. Leichtathletik (Die Lehre der Leichtathletik) (39) 1105-1108
- Landgraf, F.K.; Steinbach, M. (1963): Beiträge zum Rechts-Links-Problem unter besonderer Berücksichtigung des prävalierten Beines. Der Sportarzt. 14 (12) 267-273
- Lemke, S.; Auert, S.; Kuhne, G.E. (1987): Untersuchungen zur Händigkeit mit Hilfe des Fingerspreizens. Psychiatrie, Neurologie und medizinische Psychologie. Leipzig (39) 139-144

- Ludwig, W. (1932): Das Rechts-Links-Problem im Tierreich und beim Menschen. Berlin: Springer
- Luria, A.R. (1970): Die höheren kortikalen Funktionen des Menschen und ihre Störungen bei örtlichen Hirnschädigungen. Berlin: Verlag der Wissenschaften
- Maljutin, E.N. (1931): Stroboskopische Erscheinungen bei Gesangsschülern. Acta otolaryngologica. 15 (1) 109-119
- Maurer, H. (2003): Exkurs Seitigkeit. In: eBuT - eLearning in der Bewegungs- und Trainingswissenschaft. Zugriff über Datenbank Bildungsnetzwerk Bewegung und Training / Online-Akademie „Bewegung und Training / Motorische Kontrolle. <http://www.ebut.de> [Stand: 03. Dezember 2008]
- Miller, H. (1971): Untersuchungen über den Einfluss von exzentrischem Krafttraining auf die Grundkraft (unter Berücksichtigung des Crossing-Effektes). unveröffentlichte Diplomarbeit, DSHS Köln
- o. V. (1989): Linkshänder. Gefährliches Pflaster. In: DER SPIEGEL. 42 (37) 251-254
- o. V. (1996): Betriebsanleitung Strömungskanal OSP-Berlin
- Oberbeck, H. (1984): Zum Problem der Seitigkeit in der Leichtathletik. Lehre der Leichtathletik. 35 (17) 597-598
- Oberbeck, H. (1986): Seitigkeits-Konstellationstypen: Bestimmungsmethoden und Konsequenzen für Unterricht und Training. In: Letzelter, H.; Steinmann, W.; Freitag, W. (Hrsg.): Angewandte Sportwissenschaft. DVS-Protokolle Nr. 21, Clausthal-Zellerfeld: DVS. 333-339
- Oberbeck, H. (1989): Seitigkeitsphänomene und Seitigkeitstypologie im Sport. Band 68 der Schriftreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft. Schorndorf: Hofmann
- Oberbeck, H. (1992): Seitigkeitstypologie im Leistungssport. Leistungssport 22 (1) 35-40
- Ostlyngen, E. (1948): Høyre og venstre side som psykologisk problem. Norsk Ped Tidskrift (3) 65-77
- Pinel, J. (2001): Lateralisierung, Sprache und Split-Brain. In: Boucsein, W. (Hrsg.): Biopsychologie. 2. Auflage. Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verlag. 458-489
- Reischle, K. (1988): Biomechanik des Schwimmens. Bockenem: Sport Fahnemann
- Reiss, M.; Reiss, G. (2000): Zur Untersuchung der motorischen Asymmetrien. Fortschritte der Neurologie, Psychiatrie 68 (2) 70-79
- Röthig, P.; Prohl, R.U.A. (2003): Sportwissenschaftliches Lexikon. 7. Auflage. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann

- Sachs, L. (1992): Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- Sakano, N. (1982): Latent left-handedness. It's relation to hemispheric and psychological functions. Jena: Gustav Fischer
- Sattler, J.B. (2007): Sport. <http://www.linkshaender-beratung.de/deutsch/Sport.htm>
[Stand: 03. Dezember 2008]
- Schilling, F. (1972): Zur Methode der Lateralitätsbestimmung. In: Eggert, D.; Kiphard, E.J. (Hrsg.): Die Bedeutung der Motorik für die Entwicklung normaler und behinderter Kinder. Schorndorf: Hofmann, 248-265
- Schilling, F. (1973): Untersuchungen zur Methodik der differenzierten Lateralitätsbestimmung. In: Bericht III. Europäischer Kongress der Sportpsychologie. Schorndorf: Hofmann, 114-151
- Schilling, F. (1974): Neue Ansätze zur Untersuchung der Hand- und Fingergeschicklichkeit im Kindesalter. Sportwissenschaft 4 (3) 276-298
- Schilling, F. (1979): Die Bestimmung der Händigkeit. Motorik 2 (2) 43-49
- Seifert, G. (1968): Zum Problem des beidseitigen Übens im Gerätturnen. Körpererziehung 18 (11) 574-579
- Sovak, M. (1968): Pädagogische Probleme der Lateralität. Berlin: Volk und Gesundheit
- Spille, G. (1959): Über Rechts-, Links- und Beidseitigkeit im Sport. Die Leibeserziehung 8 (2) 46-51
- Springer, S.P.; Deutsch, G. (1998): Linkes Rechtes Gehirn. 4. Auflage. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verlag
- Stein, F. (1959): Der ‚natürliche Drehsinn‘. Der Sportarzt 10 (4) 84-85
- Steingrüber, H.J. (1971): Zur Messung der Händigkeit. Zeitschrift für Experimentelle und angewandte Psychologie (18) 337-357
- Steingrüber, H.J.; Lienert, G.A. (1976): Hand-Dominanz-Test (HDT). Handanweisung. 2. Auflage. Göttingen: Hogrefe-Verlag
- Stier, E. (1911): Untersuchungen über Linkshändigkeit und die funktionellen Differenzen der Hirnhälften. Jena: Fischer
- Strass, D.; Wild, M.; Hahn, A. (1999): A comparison of maximal voluntary force during unilateral and bilateral arm extension in swimmers. In: Keskinen, K. L.; Komi, P. V.; Hollander, A. P. (Hrsg.): Biomechanics and Medicine in Swimming VIII. Jyväskylä/Finland: Gummerus Printing house 197-201

- Syed, I.B. (1973): Letter: Simple test for determining left-handedness. *The New England journal of medicine* (289) 1205
- Thienes, G. (2000): Lateralität und sportmotorische Leistungsfähigkeit. *Motorik* 23 (2) 57-62
- Ullmann, J.F. (1974): *Psychologie der Lateralität*. Bern, Stuttgart, Wien: Huber-Verlag
- Ungerechts, B.E. (1992): Leistungsdiagnostische Möglichkeiten für den Schwimmsport. *Leistungssport* 22 (2) 27-30
- Wartusch, H. (1979): *Modell eines speziellen sportmotorischen Fertigungsprofils des Fußballspielers*. Dissertation, Innsbruck
- Wasmund, U. (1976): Untersuchungen zur Lateralität im Sport bei Kindern und Erwachsenen. *International journal of physical education* 13 (2) 34-38, 13 (3) 37-44
- Wick, D.; Krüger, T. (1998): Bericht und Ergebnisdarstellung zum Projekt: Objektivierung der allgemeinen Kraftfähigkeiten und deren Zusammenhang im Nachwuchsbereich des Kanurennsports. Potsdam: unveröffentlichtes Manuskript.
- Witt, M.; Nitsch, M.; Rölle, K.; Gunkel, R.; Dalichow, W. (1997): *Armkraftzuggerät (AKZ) – Version Schwimmen: Dokumentation Hardware/Software*. Institut für Angewandte Trainingswissenschaft. Leipzig (unveröffentlicht)
- Witt, M. (2003): Leistungsdiagnose im Sportschwimmen. In: Hahn, A.; Strass, D.; Wilke, K. (Hrsg.): *Von den Halloren zur Gegenwart des Schwimmsports*. Schriften zur Sportwissenschaft (Band 41). Hamburg: Verlag Dr. Kovač
- Witt, M.; Hermsdorf, M. (2006): Genesis of lateral differences of swimmers. In: J.P. Vilas-Boas, J.P.; Alves, F.; Marques, A. (eds.): *Book of Abstracts of the Xth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming*. Portuguese Journal of Sport Sciences, 6 (Suppl 1) 66-67
- Zipp, P. (1989): *Optimierung der Oberflächenableitung bioelektrischer Signale*. Düsseldorf: VDI-Verlag
- Zöfel, P. (2002): *Statistik verstehen. Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung*. München: Addison-Wesley Verlag

Anhang

Tab. A 1: Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des 2. Tests (n = 82) differenziert nach dem Geschlecht (Querschnitt)

	Seite	Männer (n=43)		Frauen (n=39)		gesamt (n=82)	
		Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p
P_{mit} [W]	li.	250,6 \pm 63,2	< 0,001	143,9 \pm 24,8	< 0,001	199,9 \pm 72,3	< 0,001
	re.	239,1 \pm 60,5		137,7 \pm 24,4		190,9 \pm 69,1	
F_{mit} [N]	li.	108,0 \pm 23,3	0,001	74,6 \pm 13,5	< 0,001	92,1 \pm 25,5	< 0,001
	re.	105,6 \pm 23,5		72,4 \pm 13,3		89,8 \pm 25,5	
v_{max} [m/s]	li.	3,59 \pm 0,35	< 0,001	2,97 \pm 0,26	0,009	3,3 \pm 0,44	< 0,001
	re.	3,51 \pm 0,34		2,93 \pm 0,28		3,23 \pm 0,43	
s [mm]	li.	1452,0 \pm 85,4	0,047	1279,5 \pm 80,5	0,042	1367,0 \pm 119,7	0,006
	re.	1436,7 \pm 93,9		1269,8 \pm 85,6		1357,3 \pm 122,6	
t [ms]	li.	631,9 \pm 54,8	0,029	665,0 \pm 77,9	0,339	647,7 \pm 68,4	0,028
	re.	639,4 \pm 51,5		668,9 \pm 73,6		653,5 \pm 64,3	

Tab. A 2: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) und Signifikanzniveau von P_{mit}, F_{mit}, v_{max}, s und t des 2. Tests im Vergleich zwischen Männern und Frauen (Querschnitt)

	Männer (n=43)	Frauen (n=39)	p
P_{mit} [W]	11,53 \pm 12,34	6,25 \pm 4,65	0,014
F_{mit} [N]	2,42 \pm 4,36	2,21 \pm 3,01	0,805
v_{max} [m/s]	0,08 \pm 0,13	0,05 \pm 0,10	0,238
s [mm]	15,26 \pm 48,90	9,75 \pm 28,99	0,542
t [ms]	-7,49 \pm 21,72	-3,93 \pm 25,34	0,495

Tab. A 3: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit}, F_{mit}, v_{max}, s und t des 2. Tests der Gruppen Fm, Fw, Sm und Sw (Querschnitt)

	Fm (n=24)	Fw (n=19)	Sm (n=19)	Sw (n=20)
P_{mit} [W]	13,46 \pm 15,38	7,07 \pm 5,22	9,08 \pm 6,44	5,47 \pm 4,01
F_{mit} [N]	3,12 \pm 4,92	2,31 \pm 3,06	1,53 \pm 3,46	2,11 \pm 3,04
v_{max} [m/s]	0,07 \pm 0,16	0,07 \pm 0,11	0,07 \pm 0,09	0,03 \pm 0,10
s [mm]	6,01 \pm 58,99	7,31 \pm 33,10	26,95 \pm 29,57	12,06 \pm 25,13
t [ms]	-12,70 \pm 24,56	-8,82 \pm 26,51	-0,91 \pm 15,14	0,72 \pm 23,91

Tab. A 4: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Gruppen Fm, Fw, Sm und Sw (Querschnitt)

		Fm (n=24)	Fw (n=19)	Sm (n=19)	Sw (n=20)
Fm	P_{mit}	-	0,091	0,252	0,029
	F_{mit}	-	0,535	0,240	0,431
	v_{max}	-	0,867	0,815	0,269
	s	-	0,932	0,166	0,671
	t	-	0,624	0,077	0,077
Fw	P_{mit}	0,091	-	0,298	0,289
	F_{mit}	0,535	-	0,467	0,841
	v_{max}	0,867	-	0,601	0,246
	s	0,932	-	0,062	0,616
	t	0,624	-	0,266	0,245
Sm	P_{mit}	0,252	0,298	-	0,042
	F_{mit}	0,240	0,467	-	0,579
	v_{max}	0,815	0,601	-	0,067
	s	0,166	0,062	-	0,098
	t	0,077	0,266	-	0,801
Sw	P_{mit}	0,029	0,289	0,042	-
	F_{mit}	0,431	0,841	0,579	-
	v_{max}	0,269	0,246	0,067	-
	s	0,671	0,616	0,098	-
	t	0,077	0,245	0,801	-

Tab. A 5: Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des 2. Tests ($n = 82$) differenziert nach der Zugdauer (Querschnitt)

	Seite	1 Minute (n=38)		2 Minuten (n=44)		gesamt (n=82)	
		Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p	Mw. \pm SD.	p
P_{mit} [W]	li.	223,0 \pm 84,0	< 0,001	179,9 \pm 53,9	< 0,001	199,9 \pm 72,3	< 0,001
	re.	211,1 \pm 80,0		173,4 \pm 53,0		190,9 \pm 69,1	
F_{mit} [N]	li.	99,4 \pm 29,5	0,001	85,8 \pm 19,6	< 0,001	92,1 \pm 25,5	< 0,001
	re.	96,5 \pm 29,5		83,7 \pm 19,8		89,8 \pm 25,5	
v_{max} [m/s]	li.	3,38 \pm 0,48	< 0,001	3,23 \pm 0,39	0,018	3,30 \pm 0,44	< 0,001
	re.	3,29 \pm 0,45		3,18 \pm 0,41		3,23 \pm 0,43	
s [mm]	li.	1393,8 \pm 125,8	0,154	1349,4 \pm 111,5	0,013	1367,0 \pm 119,7	0,006
	re.	1383,2 \pm 124,9		1335,0 \pm 117,5		1357,3 \pm 122,6	
t [ms]	li.	638,6 \pm 63,0	0,010	655,5 \pm 72,6	0,749	647,7 \pm 68,4	0,028
	re.	650,0 \pm 59,4		656,5 \pm 68,9		653,5 \pm 64,3	

Tab. A 6: Absolute Seitendifferenzen der Ergebnisse (Mw. \pm SD.) des 2. Tests (Querschnitt) im Vergleich zwischen den Gruppen mit einer Zugdauer von 1. Minute ($n = 38$) und von 2 Minuten ($n = 44$)

	1 Minute (n=38)	2 Minuten (n=44)	p
P_{mit} [W]	11,92 \pm 13,17	6,50 \pm 4,21	0,012
F_{mit} [N]	2,64 \pm 4,41	2,04 \pm 3,11	0,480
v_{max} [m/s]	0,08 \pm 0,12	0,04 \pm 0,12	0,155
s [mm]	10,55 \pm 44,39	14,44 \pm 36,97	0,667
t [ms]	-11,36 \pm 25,70	-0,99 \pm 20,38	0,045

Tab. A 7: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t des 2. Tests der Gruppen 1F, 2F, 1S und 2S (Querschnitt)

	1F (n=22)	2F (n=21)	1S (n=16)	2S (n=23)
P_{mit} [W]	14,21 \pm 16,03	6,90 \pm 4,45	8,79 \pm 7,08	6,14 \pm 4,04
F_{mit} [N]	3,25 \pm 5,09	2,25 \pm 2,98	1,80 \pm 3,25	1,85 \pm 3,28
v_{max} [m/s]	0,09 \pm 0,13	0,05 \pm 0,14	0,07 \pm 0,09	0,04 \pm 0,10
s [mm]	1,12 \pm 51,82	12,30 \pm 45,84	23,51 \pm 29,28	16,39 \pm 27,44
t [ms]	-19,92 \pm 24,61	-1,63 \pm 23,14	0,40 \pm 22,93	-0,40 \pm 18,00

Tab. A 8: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Gruppen 1F, 2F, 1S und 2S (Querschnitt)

	1F (n=22)	2F (n=21)	1S (n=16)	2S (n=23)
1F				
P_{mit}	-	0,050	0,215	0,024
F_{mit}	-	0,443	0,325	0,278
v_{max}	-	0,367	0,714	0,169
s	-	0,459	0,129	0,221
t	-	0,016	0,014	0,004
2F				
P_{mit}	0,050	-	0,326	0,557
F_{mit}	0,443	-	0,360	0,673
v_{max}	0,367	-	0,560	0,791
s	0,459	-	0,399	0,719
t	0,016	-	0,792	0,844
1S				
P_{mit}	0,215	0,326	-	0,146
F_{mit}	0,325	0,360	-	0,960
v_{max}	0,714	0,560	-	0,275
s	0,129	0,399	-	0,443
t	0,014	0,792	-	0,904
2S				
P_{mit}	0,024	0,557	0,146	-
F_{mit}	0,278	0,673	0,960	-
v_{max}	0,169	0,791	0,275	-
s	0,221	0,719	0,443	-
t	0,004	0,844	0,904	-

Tab. A 9: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), Geschwindigkeit (v_{max}), des Zugweges (t) und der Zugzeit (t) zwischen den Gruppen 1Fm, 2Fm, 1Sm, 2Sm, 1Fw, 2Fw, 1Sw und 2Sw (Querschnitt)

		1Fm (n=12)	2Fm (n=12)	1Sm (n=9)	2Sm (n=10)	1Fw (n=10)	2Fw (n=9)	1Sw (n=7)	2Sw (n=13)
1Fm	P_{mit}	-	0,075	0,351	0,063	0,124	0,065	0,076	0,033
	F_{mit}	-	0,389	0,471	0,176	0,457	0,472	0,291	0,487
	v_{max}	-	0,404	0,854	0,422	0,645	0,490	0,250	0,189
	s	-	0,638	0,202	0,312	0,927	0,596	0,611	0,573
	t	-	0,055	0,047	0,030	0,625	0,072	0,085	0,028
2Fm	P_{mit}	0,075	-	0,096	0,377	0,815	0,251	0,099	0,305
	F_{mit}	0,389	-	0,998	0,304	0,935	0,971	0,446	0,781
	v_{max}	0,404	-	0,288	0,846	0,639	0,857	0,774	0,765
	s	0,638	-	0,358	0,569	0,638	0,960	0,945	0,977
	t	0,055	-	0,750	0,830	0,149	0,753	0,705	0,683
1Sm	P_{mit}	0,351	0,096	-	0,034	0,205	0,027	0,019	0,016
	F_{mit}	0,471	0,998	-	0,419	0,948	0,976	0,565	0,822
	v_{max}	0,854	0,288	-	0,171	0,412	0,288	0,059	0,074
	s	0,202	0,358	-	0,550	0,076	0,250	0,235	0,136
	t	0,047	0,750	-	0,861	0,111	0,965	0,905	0,940
2Sm	P_{mit}	0,063	0,377	0,034	-	0,344	0,769	0,379	0,970
	F_{mit}	0,176	0,304	0,419	-	0,304	0,363	0,809	0,230
	v_{max}	0,3422	0,846	0,171	-	0,674	0,987	0,417	0,500
	s	0,312	0,569	0,550	-	0,153	0,478	0,458	0,326
	t	0,030	0,830	0,861	-	0,076	0,854	0,785	0,801
1Fw	P_{mit}	0,124	0,815	0,205	0,344	-	0,250	0,128	0,274
	F_{mit}	0,457	0,935	0,948	0,304	-	0,972	0,431	0,855
	v_{max}	0,645	0,639	0,412	0,674	-	0,746	0,305	0,324
	s	0,927	0,638	0,076	0,153	-	0,500	0,464	0,487
	t	0,625	0,149	0,111	0,076	-	0,162	0,170	0,084
2Fw	P_{mit}	0,065	0,251	0,027	0,769	0,250	-	0,550	0,770
	F_{mit}	0,472	0,971	0,976	0,363	0,972	-	0,498	0,838
	v_{max}	0,490	0,857	0,288	0,987	0,746	-	0,547	0,564
	s	0,596	0,960	0,250	0,478	0,500	-	0,974	0,905
	t	0,072	0,753	0,965	0,854	0,162	-	0,948	0,987
1Sw	P_{mit}	0,076	0,099	0,019	0,379	0,128	0,550	-	0,344
	F_{mit}	0,291	0,446	0,565	0,809	0,431	0,498	-	0,361
	v_{max}	0,250	0,774	0,059	0,417	0,305	0,547	-	0,959
	s	0,611	0,945	0,235	0,458	0,464	0,974	-	0,868
	t	0,085	0,705	0,905	0,785	0,170	0,948	-	0,948
2Sw	P_{mit}	0,033	0,305	0,016	0,970	0,274	0,770	0,344	-
	F_{mit}	0,487	0,781	0,822	0,230	0,855	0,838	0,361	-
	v_{max}	0,189	0,765	0,074	0,500	0,324	0,564	0,959	-
	s	0,573	0,977	0,136	0,326	0,487	0,905	0,868	-
	t	0,028	0,683	0,940	0,801	0,084	0,987	0,948	-

Tab. A 10: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Tests 2 bis 4 ($n = 29$, Längsschnitt)

		Test 2	Test 3	Test 4
Test 2	P_{mit}	-	0,906	0,807
	F_{mit}	-	0,749	0,873
	v_{max}	-	0,813	0,556
	s	-	0,709	0,800
	t	-	0,723	0,583
Test 3	P_{mit}	0,906	-	0,891
	F_{mit}	0,749	-	0,644
	v_{max}	0,813	-	0,346
	s	0,709	-	0,535
	t	0,723	-	0,378
Test 4	P_{mit}	0,807	0,891	-
	F_{mit}	0,873	0,644	-
	v_{max}	0,556	0,346	-
	s	0,800	0,535	-
	t	0,583	0,378	-

Tab. A 11: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für die Tests 2 bis 4, Freistil ($n = 17$, Längsschnitt)

	Test 2	Test 3	Test 4
P_{mit} [W]	15,99 \pm 17,98	14,98 \pm 16,12	14,44 \pm 16,79
F_{mit} [N]	4,40 \pm 3,78	4,39 \pm 4,45	4,81 \pm 4,87
v_{max} [m/s]	0,13 \pm 0,14	0,12 \pm 0,09	0,13 \pm 0,12
s [mm]	38,29 \pm 23,99	36,27 \pm 26,48	33,50 \pm 24,52
t [ms]	24,52 \pm 20,93	22,67 \pm 16,66	23,32 \pm 19,88

Tab. A 12: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Tests 2 bis 4 für Freistil ($n = 17$, Längsschnitt)

		Test 2	Test 3	Test 4
Test 2	P_{mit}	-	0,675	0,628
	F_{mit}	-	0,986	0,736
	v_{max}	-	0,794	0,859
	s	-	0,816	0,407
	t	-	0,750	0,785
Test 3	P_{mit}	0,675	-	0,867
	F_{mit}	0,986	-	0,740
	v_{max}	0,794	-	0,961
	s	0,816	-	0,734
	t	0,750	-	0,907
Test 4	P_{mit}	0,628	0,867	-
	F_{mit}	0,736	0,740	-
	v_{max}	0,859	0,961	-
	s	0,407	0,734	-
	t	0,785	0,907	-

Tab. A 13: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für die Tests 2 bis 4, Schmetterling ($n = 12$, Längsschnitt)

	Test 2	Test 3	Test 4
P_{mit} [W]	7,52 \pm 6,42	7,91 \pm 5,88	7,48 \pm 7,35
F_{mit} [N]	3,99 \pm 2,53	4,20 \pm 2,62	2,99 \pm 1,62
v_{max} [m/s]	0,09 \pm 0,06	0,06 \pm 0,05	0,10 \pm 0,08
s [mm]	25,93 \pm 22,27	36,97 \pm 26,06	27,26 \pm 25,07
t [ms]	16,40 \pm 14,15	18,89 \pm 19,57	23,04 \pm 25,58

Tab. A 14: p-Werte der Signifikanztests der Seitendifferenzen von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t zwischen den Tests 2 bis 4 für Schmetterling ($n = 12$, Längsschnitt)

	Test 2	Test 3	Test 4
Test 2	P_{mit}	-	0,876
	F_{mit}	-	0,867
	v_{max}	-	0,930
	s	-	0,289
	t	-	0,727
Test 3	P_{mit}	0,876	-
	F_{mit}	0,867	-
	v_{max}	0,083	-
	s	0,289	-
	t	0,727	-
Test 4	P_{mit}	0,987	0,758
	F_{mit}	0,135	0,227
	v_{max}	0,930	0,122
	s	0,863	0,333
	t	0,256	0,682

Tab. A 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Differenzen der mittleren Leistung (P_{mit}) für Freistil ($n = 17$), Schmetterling ($n = 12$) und gesamt ($n = 29$) über 3 Tests (Längsschnitt)

	Freistil (n=17)	Schmetterling (n=12)	gesamt (n=29)
Test 2	6,50 \pm 5,99	2,95 \pm 2,41	5,03 \pm 5,10
Test 3	6,44 \pm 5,41	3,91 \pm 2,86	5,39 \pm 4,64
Test 4	6,43 \pm 6,03	3,49 \pm 3,27	5,21 \pm 5,21

Tab. A 16: Häufigkeitsverteilung aller Schwimmer für die prozentuale Differenz der mittleren Leistung für die Tests 2 bis 4

Diff. P_{mit} [%]	Test 2 (n=82)		Test 3 (n=48)		Test 4 (n=29)	
	Häufigk.	[%]*	Häufigk.	[%]*	Häufigk.	[%]*
0,0 < x \leq 5,0	49	59,7	30	62,5	19	65,5
5,0 < x \leq 10,0	29	35,4	11	22,9	6	20,7
10,0 < x \leq 15,0	2	2,4	6	12,5	2	6,9
15,0 < x \leq 20,0	1	1,2	0	0,0	0	0,0
20,0 < x \leq 25,0	0	0,0	1	2,1	2	6,9
25,0 < x \leq 30,0	1	1,2	0	0,0	0	0,0

* gerundete Werte

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



Forschungsprojekt „Lateralität bei Leistungsschwimmen“

Erfassungsbogen

Allgemeine Daten:

Name: _____ Vorname: _____

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Geburtsdatum: ____ . ____ . ____

Körperhöhe: _____ cm Körpermasse: _____ kg

Beschwerden: ☐ nein ☐ ja: _____

Kader:

☐ A ☐ B ☐ C/D ☐ D
☐ JEM ☐ _____ ☐ keiner

Hauptlage(n):

☐ Kraul (Freistil) ☐ Lagen
☐ Rücken
☐ Brust
☐ Delphin

Hauptstreckenlänge(n) und Bestzeit(en):

Strecke	Delphin	Rücken	Brust	Kraul	Lagen
50					
100					
200					
400					
800					
1500					

KB = Kurzbahn; LB = Langbahn

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



Forschungsprojekt „Lateralität bei Leistungsschwimmen“

Händigkeit

Testperson: _____

Datum: _____

Abweichend von der ursprünglich vorgesehenen Vorgabe als Fragebogen sollen die einzelnen Tätigkeiten gestisch dargestellt werden. Der Interviewer gibt die entsprechenden Aufforderungen und kreuzt jeweils in der Spalte für „linke Hand“ bzw. „rechte Hand“ an. Entscheidend ist die jeweils *führende* Hand; also: welche Hand hält und führt die Schere, das Messer, den Besenstiel (am oberen Ende), das Streichholz bzw. dreht den Deckel (beim Aufschrauben)? Kann sich jemand nicht für eine Hand entscheiden bzw. äußert sie/er, dass einmal die rechte, ein andermal die linke Hand benutzt wird, so sind beide Spalten anzukreuzen (ggf. nachfragen). Bei Frage 8 sind viele Probanden unsicher, hier hilft es, wenn der Interviewer dazu auffordert, das Fegen im Stehen vorzumachen.

Bitte machen Sie einmal vor, wie sie...	linke Hand	rechte Hand
1) ... schreiben		
2) ... zeichnen		
3) ... einen Ball werfen		
4) ... mit einer Schere schneiden		
5) ... sich die Zähne putzen		
6) ... mit dem Messer Brot schneiden		
7) ... mit dem Löffel essen		
8) ... mit dem Besen fegen		
9) ... ein Streichholz anzünden		
10) ... den Deckel von einer Dose schrauben		

Berechnung des Lateralisierungsquotienten (LQ) anhand der Summe von Ankreuzungen für die linke bzw. rechte Hand:

$$LQ = \frac{(R - L)}{(R + L)} \times 100$$

LQ =

Mit welcher Hand schreiben:

Mutter	(R)	(L)	(?)
Vater	(R)	(L)	(?)
Schwester	(R)	(L)	(?)
Bruder	(R)	(L)	(?)
Tochter	(R)	(L)	(?)
Sohn	(R)	(L)	(?)

Tab. A 17: Die mittlere Leistung der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)

Pb.	Seite	mittlere Leistung [W]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
01	li.	167,0 ± 20,8	198,1 ± 29,8	204,0 ± 34,4	211,2 ± 31,6
	re.	189,4 ± 22,0	214,5 ± 30,3	219,6 ± 35,4	223,0 ± 33,7
03	li.	123,8 ± 14,6	136,9 ± 15,4	148,9 ± 16,3	127,5 ± 13,9
	re.	126,7 ± 12,5	145,4 ± 13,8	155,4 ± 16,9	145,9 ± 15,5
04	li.	138,5 ± 17,2	146,6 ± 21,5	125,2 ± 20,2	149,9 ± 21,5
	re.	135,1 ± 14,9	153,1 ± 13,2	124,6 ± 17,1	150,9 ± 15,9
05	li.	186,9 ± 13,9	202,3 ± 24,9	171,0 ± 22,8	200,5 ± 17,3
	re.	205,0 ± 15,1	234,2 ± 28,1	199,1 ± 22,2	226,1 ± 18,4
07	li.	105,1 ± 13,0	107,6 ± 14,0	125,4 ± 17,8	124,7 ± 15,9
	re.	107,0 ± 14,4	125,0 ± 14,5	146,0 ± 17,4	138,9 ± 16,2
09	li.	117,2 ± 13,2	136,2 ± 15,0	147,2 ± 14,7	145,2 ± 12,1
	re.	128,8 ± 13,8	166,0 ± 17,2	174,4 ± 17,3	163,0 ± 14,0
10	li.	148,7 ± 15,3	159,1 ± 15,4	150,6 ± 11,5	158,5 ± 6,9
	re.	159,6 ± 12,6	171,0 ± 16,6	155,1 ± 11,9	159,5 ± 8,1
12	li.	130,2 ± 16,7	153,7 ± 23,0	140,1 ± 20,7	142,0 ± 17,1
	re.	125,8 ± 13,3	159,3 ± 17,8	158,5 ± 20,9	157,9 ± 16,6
13	li.	161,2 ± 18,1	210,7 ± 21,3	198,7 ± 33,5	194,5 ± 27,5
	re.	168,8 ± 16,5	205,9 ± 24,6	208,0 ± 34,5	196,8 ± 31,5

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 18: Die mittlere Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)

Pb.	Seite	mittlere Kraft [N]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
01	li.	81,2 ± 5,4	92,3 ± 8,2	92,7 ± 8,8	93,7 ± 7,9
	re.	88,7 ± 3,2	99,2 ± 7,7	98,4 ± 8,6	97,6 ± 7,8
03	li.	65,7 ± 5,1	71,0 ± 4,1	75,5 ± 4,6	69,5 ± 4,2
	re.	67,6 ± 4,0	75,6 ± 3,9	78,8 ± 4,6	75,0 ± 4,3
04	li.	71,6 ± 5,0	76,2 ± 5,8	67,3 ± 5,5	75,7 ± 5,5
	re.	73,5 ± 4,1	80,6 ± 3,9	70,2 ± 4,9	79,5 ± 4,1
05	li.	87,7 ± 3,5	93,2 ± 6,0	87,4 ± 5,9	95,9 ± 4,5
	re.	93,0 ± 3,7	102,8 ± 6,9	95,9 ± 5,4	103,5 ± 4,5
07	li.	64,8 ± 4,2	70,4 ± 4,2	74,6 ± 5,3	71,1 ± 4,6
	re.	66,9 ± 4,6	78,9 ± 4,4	82,9 ± 5,0	76,9 ± 4,7
09	li.	68,5 ± 4,3	75,4 ± 4,7	78,6 ± 4,6	77,5 ± 3,9
	re.	72,4 ± 4,1	85,9 ± 5,1	87,5 ± 4,7	83,3 ± 4,1
10	li.	77,5 ± 4,6	80,3 ± 4,5	75,9 ± 3,1	79,7 ± 2,0
	re.	82,6 ± 3,7	86,4 ± 4,5	79,1 ± 3,2	80,7 ± 2,3
12	li.	70,5 ± 4,9	80,0 ± 6,2	73,7 ± 5,4	79,2 ± 5,0
	re.	72,7 ± 3,8	85,0 ± 4,7	81,4 ± 5,2	86,1 ± 4,4
13	li.	81,2 ± 5,6	97,1 ± 4,9	91,8 ± 8,0	92,7 ± 7,0
	re.	86,5 ± 4,7	97,3 ± 6,0	95,4 ± 8,4	93,8 ± 8,0

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 19: Die maximale Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)

Pb.	Seite	maximale Kraft [N]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
01	li.	102,0 ± 6,9	119,9 ± 8,0	123,9 ± 8,6	130,2 ± 7,4
	re.	112,9 ± 7,8	133,1 ± 9,4	131,0 ± 10,0	132,2 ± 9,7
03	li.	87,8 ± 5,7	89,8 ± 5,5	94,5 ± 7,4	89,1 ± 7,1
	re.	94,6 ± 6,4	99,5 ± 7,2	101,4 ± 6,7	99,9 ± 9,0
04	li.	87,3 ± 6,0	91,1 ± 7,1	80,5 ± 7,6	98,1 ± 7,3
	re.	94,4 ± 6,8	101,1 ± 7,3	89,4 ± 7,5	101,0 ± 8,3
05	li.	129,7 ± 7,2	139,1 ± 8,6	131,7 ± 14,2	140,3 ± 7,9
	re.	127,6 ± 8,8	135,8 ± 10,7	129,7 ± 11,4	145,4 ± 8,6
07	li.	89,1 ± 6,2	110,7 ± 12,0	112,6 ± 8,4	105,1 ± 11,0
	re.	100,5 ± 6,8	124,0 ± 9,3	123,1 ± 8,7	110,7 ± 8,0
09	li.	90,5 ± 5,5	97,4 ± 6,8	101,3 ± 7,6	104,3 ± 6,9
	re.	96,5 ± 7,5	110,2 ± 9,8	110,6 ± 9,2	107,8 ± 6,2
10	li.	92,5 ± 6,6	93,2 ± 5,7	89,0 ± 4,1	93,1 ± 3,1
	re.	101,8 ± 5,8	102,6 ± 5,7	92,4 ± 4,7	92,9 ± 3,8
12	li.	100,0 ± 8,8	98,8 ± 9,5	90,2 ± 8,6	96,6 ± 6,4
	re.	95,7 ± 8,4	105,9 ± 7,9	106,3 ± 8,6	111,8 ± 6,7
13	li.	97,9 ± 7,0	121,4 ± 5,8	120,0 ± 10,4	124,8 ± 10,0
	re.	107,4 ± 5,7	118,8 ± 8,0	117,8 ± 11,6	117,2 ± 11,4

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 20: Die Zugweg der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)

Pb.	Seite	Zugweg [mm]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
01	li.	1465,1 ± 43,4	1507,0 ± 29,3	1547,1 ± 29,5	1531,1 ± 25,7
	re.	1497,0 ± 30,6	1509,8 ± 27,3	1559,2 ± 28,3	1538,0 ± 29,6
03	li.	1428,6 ± 36,5	1384,2 ± 34,1	1388,8 ± 47,7	1394,2 ± 30,7
	re.	1477,4 ± 31,0	1443,6 ± 29,4	1419,2 ± 36,8	1428,0 ± 33,1
04	li.	1317,8 ± 20,8	1339,4 ± 16,2	1296,9 ± 36,3	1284,8 ± 44,6
	re.	1338,1 ± 19,9	1345,1 ± 22,1	1294,1 ± 29,1	1272,1 ± 26,4
05	li.	1336,1 ± 30,0	1362,0 ± 36,4	1325,9 ± 38,6	1306,1 ± 42,1
	re.	1405,7 ± 38,4	1407,0 ± 37,9	1370,3 ± 47,3	1339,2 ± 38,8
07	li.	1255,5 ± 39,7	1232,2 ± 21,1	1201,8 ± 36,4	1182,5 ± 33,4
	re.	1277,7 ± 40,8	1193,2 ± 36,9	1226,2 ± 34,2	1198,6 ± 37,6
09	li.	1216,2 ± 38,6	1353,0 ± 32,8	1434,6 ± 24,8	1420,3 ± 25,5
	re.	1268,0 ± 33,1	1383,1 ± 33,8	1437,6 ± 19,6	1416,2 ± 25,7
10	li.	1369,1 ± 28,1	1329,7 ± 42,3	1378,0 ± 38,4	1386,7 ± 30,1
	re.	1404,1 ± 20,1	1357,8 ± 35,8	1402,0 ± 33,1	1414,5 ± 16,8
12	li.	1394,0 ± 26,3	1316,5 ± 55,2	1317,0 ± 68,6	1359,6 ± 33,6
	re.	1375,2 ± 46,5	1324,5 ± 56,1	1353,6 ± 92,4	1360,9 ± 61,3
13	li.	1318,2 ± 35,8	1283,7 ± 63,7	1258,9 ± 76,0	1277,7 ± 57,2
	re.	1351,6 ± 36,8	1333,0 ± 54,0	1294,2 ± 73,3	1310,3 ± 57,5

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 21: Die Zugzeit der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe I)

Pb.	Seite	Zugzeit [ms]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
01	li.	766,4 ± 29,6	750,9 ± 43,9	753,5 ± 44,3	723,9 ± 41,7
	re.	767,9 ± 30,7	749,1 ± 39,7	757,2 ± 38,9	731,0 ± 35,1
03	li.	944,6 ± 124,0	833,0 ± 36,1	794,9 ± 32,2	863,1 ± 40,2
	re.	970,5 ± 72,6	853,3 ± 39,5	798,0 ± 29,5	829,7 ± 39,7
04	li.	875,2 ± 43,0	853,6 ± 30,5	857,7 ± 41,7	771,9 ± 27,9
	re.	849,1 ± 36,1	824,1 ± 35,6	863,0 ± 47,7	744,4 ± 24,3
05	li.	655,8 ± 22,0	659,1 ± 30,8	712,3 ± 46,4	651,1 ± 30,3
	re.	676,8 ± 23,0	658,5 ± 31,0	700,7 ± 34,8	642,3 ± 26,4
07	li.	823,2 ± 43,6	864,2 ± 43,9	796,2 ± 38,7	747,5 ± 46,8
	re.	832,0 ± 52,2	790,1 ± 45,4	758,6 ± 34,7	713,9 ± 35,4
09	li.	761,1 ± 37,0	804,2 ± 34,4	818,5 ± 35,1	803,2 ± 27,0
	re.	772,6 ± 33,5	765,7 ± 29,4	779,1 ± 33,3	764,5 ± 25,4
10	li.	800,3 ± 27,7	737,5 ± 25,9	766,9 ± 18,5	770,8 ± 27,3
	re.	806,5 ± 26,3	750,7 ± 26,4	790,1 ± 22,9	794,6 ± 23,7
12	li.	891,8 ± 39,8	774,3 ± 31,7	773,1 ± 29,8	836,1 ± 39,2
	re.	888,8 ± 29,9	777,5 ± 27,6	751,9 ± 30,0	795,6 ± 26,0
13	li.	734,3 ± 32,3	647,4 ± 18,4	626,9 ± 23,1	649,9 ± 22,0
	re.	751,1 ± 26,8	682,9 ± 18,6	645,3 ± 22,5	673,9 ± 23,4

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 22: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Leistung der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)

Proband	Messung	mittlere Leistung (P_{mit})				
		abs. Diff. [W]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
01	1.	22,4 ± 10,8	11,8 ± 5,7	0,8753	0,7661	-0,0890
	2.	16,5 ± 10,9	7,7 ± 5,1	0,9367	0,8775	-0,0072
	3.	15,6 ± 9,3	7,1 ± 4,2	0,9675	0,9361	-0,0223
	4.	11,8 ± 9,1	5,3 ± 4,1	0,9671	0,9352	-0,0455
03	1.	2,9 ± 9,5	2,3 ± 7,5	0,7667	0,5878	0,1573
	2.	8,5 ± 11,2	5,8 ± 7,7	0,6774	0,4589	0,1916
	3.	6,6 ± 13,2	4,2 ± 8,5	0,7786	0,6062	-0,0071
	4.	18,3 ± 12,0	12,6 ± 8,2	0,6892	0,4750	-0,1306
04	1.	3,4 ± 12,5	2,5 ± 9,3	0,7027	0,4938	0,1862
	2.	6,6 ± 18,1	4,3 ± 11,8	0,5404	0,2920	0,4897
	3.	0,6 ± 12,9	0,5 ± 10,4	0,7697	0,5925	0,2825
	4.	1,0 ± 14,7	0,7 ± 9,7	0,7682	0,5902	0,2573
05	1.	18,1 ± 13,1	8,8 ± 6,4	0,5947	0,3537	-0,0463
	2.	31,9 ± 18,0	13,6 ± 7,7	0,7797	0,6080	-0,2065
	3.	28,1 ± 17,5	14,1 ± 8,8	0,6960	0,4844	0,0640
	4.	25,6 ± 19,5	11,3 ± 8,6	0,3998	0,1598	0,0736
07	1.	2,0 ± 12,9	1,9 ± 12,1	0,5555	0,3085	0,0061
	2.	17,3 ± 10,3	13,9 ± 8,2	0,7407	0,5486	0,0683
	3.	20,7 ± 12,0	14,2 ± 8,2	0,7739	0,5990	0,0500
	4.	14,2 ± 10,7	10,2 ± 7,7	0,7803	0,6089	-0,1133
09	1.	11,7 ± 6,7	9,1 ± 5,2	0,8800	0,7744	0,0117
	2.	29,8 ± 7,3	17,9 ± 4,4	0,9190	0,8446	-0,0898
	3.	27,3 ± 6,4	15,6 ± 3,7	0,9361	0,8763	-0,1330
	4.	17,8 ± 7,8	10,9 ± 4,8	0,8365	0,6997	-0,0445
10	1.	10,9 ± 9,7	6,8 ± 6,1	0,7729	0,5974	0,1681
	2.	11,9 ± 11,3	6,9 ± 6,6	0,7438	0,5533	-0,0296
	3.	4,5 ± 9,9	2,9 ± 6,4	0,6384	0,4076	0,1263
	4.	1,1 ± 7,2	0,7 ± 4,5	0,5240	0,2746	-0,1075
12	1.	-4,4 ± 14,3	3,5 ± 11,3	0,5666	0,3210	0,4972
	2.	5,6 ± 16,2	3,5 ± 10,1	0,7287	0,5310	0,3621
	3.	18,4 ± 15,0	11,6 ± 9,5	0,8114	0,6584	0,1833
	4.	15,9 ± 17,2	10,1 ± 10,9	0,4636	0,2150	0,4172
13	1.	7,6 ± 15,1	4,5 ± 9,0	0,6199	0,3842	0,1577
	2.	-4,8 ± 15,5	2,3 ± 7,5	0,7824	0,6121	-0,1568
	3.	9,3 ± 11,8	4,5 ± 5,7	0,9430	0,8892	-0,0540
	4.	2,3 ± 12,8	1,2 ± 6,5	0,9215	0,8492	-0,1681

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 23: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)

Proband	Messung	mittlere Kraft (F_{mit})				
		abs. Diff. [N]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
01	1.	7,5 ± 3,2	8,5 ± 3,7	0,8160	0,6659	0,0095
	2.	6,9 ± 2,8	7,0 ± 2,8	0,9409	0,8852	0,0223
	3.	5,7 ± 2,6	5,8 ± 2,6	0,9606	0,9227	0,0096
	4.	3,9 ± 2,4	4,0 ± 2,5	0,9588	0,9193	0,0080
03	1.	1,9 ± 3,4	2,8 ± 5,1	0,7428	0,5517	0,0743
	2.	4,5 ± 3,2	6,0 ± 4,2	0,6365	0,4052	0,0232
	3.	3,3 ± 3,7	4,2 ± 4,7	0,7787	0,6064	-0,0041
	4.	5,5 ± 3,5	7,4 ± 4,7	0,6835	0,4671	-0,0158
04	1.	7,1 ± 5,8	7,5 ± 6,1	0,6042	0,3651	0,0664
	2.	4,5 ± 5,2	5,5 ± 6,5	0,4779	0,2284	0,1309
	3.	2,9 ± 4,0	4,3 ± 5,9	0,7149	0,5110	0,0768
	4.	3,8 ± 4,2	4,8 ± 5,3	0,7036	0,4951	0,0615
05	1.	5,3 ± 3,6	5,7 ± 3,8	0,5116	0,2618	-0,0012
	2.	9,7 ± 4,8	9,4 ± 4,6	0,7377	0,5443	-0,0584
	3.	8,5 ± 5,0	8,8 ± 5,2	0,6124	0,3751	0,0109
	4.	7,6 ± 5,3	7,4 ± 5,1	0,2848	0,0811	0,0179
07	1.	2,2 ± 3,9	3,2 ± 5,9	0,6065	0,3678	0,0048
	2.	8,5 ± 3,9	10,8 ± 4,9	0,5893	0,3473	-0,0019
	3.	8,6 ± 4,2	10,0 ± 5,1	0,6776	0,4591	0,0245
	4.	5,7 ± 3,7	7,5 ± 4,9	0,6778	0,4594	-0,0564
09	1.	4,0 ± 2,3	5,5 ± 3,1	0,8554	0,7317	0,0208
	2.	10,5 ± 2,5	12,3 ± 2,9	0,8894	0,7910	-0,0136
	3.	8,9 ± 1,9	10,2 ± 2,1	0,9221	0,8503	-0,0079
	4.	5,8 ± 2,5	6,9 ± 3,0	0,8107	0,6572	-0,0007
10	1.	5,2 ± 3,2	6,3 ± 3,9	0,7177	0,5152	0,0501
	2.	6,0 ± 3,5	7,0 ± 4,0	0,6816	0,4646	0,0007
	3.	3,2 ± 2,9	4,0 ± 3,7	0,5696	0,3244	0,0388
	4.	1,0 ± 2,4	1,3 ± 2,9	0,4532	0,2054	-0,0267
12	1.	2,2 ± 4,3	3,0 ± 5,9	0,5473	0,2995	0,0997
	2.	5,0 ± 4,4	5,9 ± 5,1	0,7402	0,5479	0,1209
	3.	7,7 ± 4,1	9,4 ± 5,0	0,7979	0,6366	0,0607
	4.	7,0 ± 4,7	8,1 ± 5,5	0,5277	0,2784	0,1169
13	1.	5,3 ± 4,6	6,1 ± 5,3	0,6188	0,3829	0,0607
	2.	0,3 ± 3,9	0,3 ± 4,0	0,7622	0,5809	-0,0483
	3.	3,5 ± 2,9	3,7 ± 3,1	0,9394	0,8824	-0,0148
	4.	1,1 ± 3,5	1,1 ± 3,7	0,9068	0,8223	-0,0444

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 24: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die maximale Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)

Proband	Messung	maximale Kraft (F_{\max})				
		abs. Diff. [N]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
01	1.	11,0 ± 5,2	9,7 ± 4,6	0,7570	0,5731	-0,0505
	2.	13,2 ± 6,2	9,9 ± 4,6	0,7661	0,5869	-0,0290
	3.	7,1 ± 5,4	5,4 ± 4,1	0,8376	0,7016	-0,0734
	4.	2,0 ± 6,4	1,5 ± 4,8	0,7932	0,6292	-0,1048
03	1.	6,8 ± 5,3	7,2 ± 5,6	0,6174	0,3811	0,0540
	2.	9,7 ± 6,4	9,7 ± 6,4	0,5283	0,2791	-0,0769
	3.	6,9 ± 7,2	6,8 ± 7,1	0,6286	0,3951	0,0283
	4.	10,8 ± 7,0	10,8 ± 7,0	0,6282	0,3946	-0,1283
04	1.	3,5 ± 5,4	3,4 ± 5,2	0,6637	0,4404	0,0521
	2.	9,9 ± 6,4	9,8 ± 6,4	0,5980	0,3576	0,0676
	3.	8,9 ± 6,6	11,1 ± 8,1	0,6228	0,3878	0,0623
	4.	2,8 ± 7,5	2,8 ± 7,4	0,5229	0,2735	0,0360
05	1.	-2,1 ± 9,1	1,6 ± 7,1	0,3749	0,1406	0,0137
	2.	-3,3 ± 13,6	2,5 ± 10,0	0,0719	0,0052	-0,3139
	3.	-2,0 ± 11,2	1,6 ± 8,7	0,6351	0,4033	-0,0388
	4.	5,1 ± 11,6	3,5 ± 8,0	0,0044	0,0000	-0,0181
07	1.	11,4 ± 6,5	11,3 ± 6,5	0,4953	0,2453	0,1205
	2.	13,3 ± 13,8	10,7 ± 11,2	0,1765	0,0312	-0,2158
	3.	10,5 ± 10,8	8,5 ± 8,8	0,1723	0,0297	0,0293
	4.	5,6 ± 8,7	5,0 ± 7,9	0,6499	0,4224	-0,1142
09	1.	5,5 ± 4,9	5,7 ± 5,1	0,7575	0,5738	-0,0804
	2.	12,8 ± 5,3	11,7 ± 4,8	0,8716	0,7597	-0,1332
	3.	9,3 ± 5,0	8,4 ± 4,5	0,8411	0,7074	-0,0992
	4.	3,5 ± 6,2	3,2 ± 5,7	0,5677	0,3223	0,0451
10	1.	3,9 ± 4,1	9,1 ± 4,0	0,7859	0,6176	0,0032
	2.	9,4 ± 5,5	9,1 ± 5,4	0,5210	0,2714	0,0305
	3.	3,5 ± 4,6	3,8 ± 4,9	0,4614	0,2129	0,0419
	4.	-0,3 ± 3,9	0,3 ± 4,2	0,4708	0,2216	-0,0295
12	1.	-4,3 ± 8,8	4,5 ± 9,2	0,4758	0,2263	0,1613
	2.	7,1 ± 8,4	6,7 ± 7,9	0,5505	0,3030	0,1481
	3.	16,0 ± 9,5	15,1 ± 8,9	0,5709	0,3259	0,0791
	4.	15,2 ± 7,0	13,6 ± 6,2	0,4497	0,2023	0,1258
13	1.	9,6 ± 5,9	8,9 ± 5,5	0,5895	0,3475	0,0590
	2.	-2,6 ± 7,3	2,2 ± 6,1	0,4868	0,2370	-0,1477
	3.	-2,1 ± 6,3	1,8 ± 5,4	0,8512	0,7246	-0,0822
	4.	-7,6 ± 6,8	6,5 ± 5,8	0,8248	0,6803	-0,0772

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 25: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für den Zugweg der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)

Proband	Messung	Zugweg (s)				
		abs. Diff. [mm]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
01	1.	31,9 ± 37,9	2,1 ± 2,5	0,5173	0,2676	-0,2357
	2.	2,7 ± 31,3	0,2 ± 2,1	0,3898	0,1519	0,1682
	3.	12,1 ± 30,7	0,8 ± 2,0	0,4681	0,2481	-0,2003
	4.	6,9 ± 31,7	0,5 ± 2,1	0,3428	0,1175	-0,2121
03	1.	48,9 ± 34,1	3,3 ± 2,3	0,5011	0,2511	0,5777
	2.	56,4 ± 36,0	3,9 ± 2,5	0,6168	0,3804	-0,0514
	3.	30,4 ± 42,5	2,1 ± 3,0	0,6698	0,4486	1,1132
	4.	33,8 ± 32,7	2,4 ± 2,3	0,4731	0,2239	0,3157
04	1.	20,3 ± 20,6	1,5 ± 1,5	0,4859	0,2361	0,3634
	2.	5,7 ± 27,3	0,4 ± 2,0	0,0075	0,0001	0,4682
	3.	2,9 ± 27,9	0,2 ± 2,1	0,6568	0,4314	0,4121
	4.	-12,7 ± 30,6	1,0 ± 2,4	0,7626	0,5816	0,9450
05	1.	69,6 ± 37,8	5,0 ± 2,7	0,4097	0,1679	0,2958
	2.	45,1 ± 36,0	3,2 ± 2,6	0,5239	0,2745	-0,6347
	3.	44,4 ± 50,4	3,2 ± 3,7	0,3247	0,1054	0,3296
	4.	33,2 ± 40,0	2,5 ± 3,0	0,5841	0,3411	0,2746
07	1.	22,2 ± 43,4	1,7 ± 3,4	0,4187	0,1753	-0,2572
	2.	39,0 ± 33,3	3,3 ± 2,8	0,4508	0,2032	-0,3464
	3.	24,4 ± 33,8	2,0 ± 2,8	0,5321	0,2831	0,0790
	4.	16,2 ± 31,4	1,3 ± 2,6	0,6191	0,3833	-0,1255
09	1.	51,8 ± 41,2	4,1 ± 3,3	0,3468	0,1203	-0,5087
	2.	31,7 ± 25,1	2,3 ± 1,8	0,6811	0,4638	-0,1882
	3.	3,3 ± 23,8	0,2 ± 1,7	0,4470	0,1998	0,2947
	4.	2,9 ± 21,3	0,2 ± 1,5	0,6369	0,4056	0,0129
10	1.	35,0 ± 29,2	2,5 ± 2,1	0,3016	0,0910	0,2864
	2.	28,0 ± 31,3	2,1 ± 2,3	0,4703	0,2212	-0,1620
	3.	24,0 ± 35,2	1,7 ± 2,5	0,4998	0,2498	0,6702
	4.	27,7 ± 31,4	2,0 ± 2,2	0,1829	0,0335	0,7514
12	1.	-18,7 ± 51,1	1,4 ± 3,7	0,1014	0,0103	0,6416
	2.	8,0 ± 61,0	0,6 ± 4,6	0,2055	0,0422	-0,1953
	3.	36,6 ± 62,9	2,7 ± 4,6	0,7149	0,5111	0,0008
	4.	1,3 ± 64,8	0,1 ± 4,8	0,2867	0,0822	-0,0230
13	1.	33,4 ± 42,1	2,5 ± 3,1	0,3287	0,1081	-0,6892
	2.	49,2 ± 50,0	3,7 ± 3,8	0,6505	0,4232	0,2538
	3.	35,3 ± 45,1	2,7 ± 3,5	0,8088	0,6541	-0,0421
	4.	32,6 ± 32,2	2,5 ± 2,5	0,8450	0,7140	-0,2451

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 26: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die Zugzeit der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe I)

Proband	Messung	Zugzeit (t)				
		abs. Diff. [ms]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
01	1.	1,5 ± 24,5	0,2 ± 3,2	0,6738	0,4540	-0,2904
	2.	-1,9 ± 27,7	0,2 ± 3,7	0,7906	0,6250	-0,1760
	3.	3,6 ± 22,2	0,5 ± 2,9	0,8586	0,7372	-0,3059
	4.	7,1 ± 21,7	1,0 ± 3,0	0,8692	0,7556	-0,2216
03	1.	26,0 ± 96,4	2,7 ± 9,9	0,6301	0,3970	-2,4507
	2.	20,3 ± 50,0	2,4 ± 5,9	0,3012	0,0907	-1,1351
	3.	3,1 ± 40,1	0,4 ± 5,0	0,2926	0,0856	0,3615
	4.	-33,4 ± 42,7	4,0 ± 5,1	0,3648	0,1331	0,5376
04	1.	26,1 ± 45,1	3,1 ± 5,3	0,3597	0,1294	0,1471
	2.	29,5 ± 38,5	3,6 ± 4,7	0,3302	0,1090	-0,4393
	3.	5,3 ± 57,1	0,6 ± 6,7	0,1908	0,0364	0,2820
	4.	-27,5 ± 29,5	3,7 ± 4,0	0,3751	0,1407	0,0869
05	1.	21,1 ± 30,5	3,1 ± 4,5	0,0848	0,0072	0,0567
	2.	-0,6 ± 28,2	0,1 ± 4,3	0,5928	0,3515	0,0887
	3.	-11,6 ± 42,3	1,7 ± 6,0	0,4873	0,2375	0,3950
	4.	-8,8 ± 35,9	1,4 ± 5,6	0,1916	0,0367	0,0782
07	1.	8,8 ± 44,8	1,1 ± 5,4	0,5741	0,3296	-0,3440
	2.	74,1 ± 44,1	9,4 ± 5,6	0,5123	0,2624	-0,3347
	3.	37,6 ± 44,7	5,0 ± 5,9	0,2673	0,0714	-0,2118
	4.	-33,6 ± 38,8	4,7 ± 5,4	0,6296	0,3964	0,4714
09	1.	11,5 ± 30,2	1,5 ± 3,9	0,6371	0,4059	-0,3799
	2.	-38,6 ± 26,6	5,0 ± 3,5	0,6635	0,4403	-0,1653
	3.	-39,5 ± 31,0	5,1 ± 4,0	0,6260	0,3919	-0,0003
	4.	-38,4 ± 27,5	5,0 ± 3,6	0,4539	0,2060	-0,0725
10	1.	6,2 ± 31,8	0,8 ± 3,9	0,3054	0,0933	-0,2569
	2.	13,2 ± 28,4	1,8 ± 3,8	0,4208	0,1771	-0,1168
	3.	23,2 ± 31,3	2,9 ± 4,0	0,0502	0,0025	0,1167
	4.	23,8 ± 30,2	3,0 ± 3,8	0,2674	0,0715	0,6581
12	1.	-3,0 ± 39,4	0,3 ± 4,4	0,3904	0,1524	-1,0963
	2.	3,2 ± 32,9	0,4 ± 4,2	0,5636	0,3176	-1,0957
	3.	-21,2 ± 34,4	2,8 ± 4,6	0,5935	0,3523	-0,5221
	4.	-40,5 ± 44,2	5,1 ± 5,6	0,1472	0,0217	-1,2780
13	1.	16,8 ± 35,4	2,2 ± 4,7	0,2942	0,0866	-0,5450
	2.	35,5 ± 25,6	5,2 ± 3,7	0,0461	0,0021	0,4557
	3.	18,4 ± 22,4	2,8 ± 3,5	0,5747	0,3303	0,0834
	4.	24,0 ± 24,6	3,6 ± 3,7	0,4520	0,2043	0,1427

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 27: Trainingsdaten der Test- und Kontrollgruppe der Trainingsgruppe II

Woche	von	bis	Strecke	GA I	GA II	S	SA	wA	i.B.	Ko	St W	St La	aK	K	L/D	B/R	Bemerkung
			[km]	[km]	[km]	[km]	[km]	[km]	[km]	[km]	[h]	[h]	[min]	[min]	[min]	[min]	
36	05.09.	11.09.	31,6	26,2	0,3	-	-	-	0,3	5,1	10	9,0	405	60	30	45	-
37	12.09.	18.09.	45,3	35,7	2,0	0,2	-	-	2,2	7,4	16	7,7	310	60	30	60	-
38	19.09.	25.09.	51,4	42,0	1,0	0,3	0,3	-	1,6	7,8	16	6,3	270	20	60	30	-
39	26.09.	02.10.	50,2	37,7	3,5	0,3	0,7	-	4,5	8,0	16	7,3	365	60	10	75	-
40	03.10.	09.10.	56,7	43,2	1,0	0,5	0,7	-	2,2	11,3	16	7,2	175	200	40	15	Oktoberferien
41	10.10.	16.10.	53,0	39,9	2,4	0,4	0,8	0,4	4,0	9,1	16	4,4	170	40	25	30	Oktoberferien
42	17.10.	23.10.	48,5	36,0	1,8	0,6	0,8	-	3,2	9,3	16	4,5	140	80	40	10	-
43	24.10.	30.10.	57,2	40,4	2,7	0,8	0,2	0,8	4,5	12,3	18	6,0	140	80	100	10	IWK Neuköln
44	31.10.	06.11.	55,7	41,3	3,0	0,7	-	-	3,7	10,7	17	4,3	130	80	40	10	-
45	07.11.	13.11.	51,6	32,8	4,7	0,8	0,5	0,8	6,8	12,0	17	3,5	30	80	160		Bundesliga Endwettkampf
46	14.11.	20.11.	34,5	22,0	1,0	0,9	0,6	0,8	3,3	9,2	12	3,5	-	80	100	30	Berliner Kurzbahnmeisterschaften, Weltcup
47	21.11.	27.11.	17,5	9,2	0,2	1,3	0,3	0,8	2,6	5,7	12	2,5	-	-	105	45	Deutsche Kurzbahnmeisterschaften
48	28.11.	04.12.	33,6	24,6	2,2	0,2	0,6	-	3,0	6,0	12	4,0	85	110	30	75	-
49	05.12.	11.12.	42,1	29,2	2,2	0,3	0,5	-	3,0	9,9	16	4,6	180	20	15	60	-
50	12.12.	18.12.	29,7	18,3	0,7	1,0	0,6	0,8	3,1	8,3	14	3,7	50	20	95	55	Weihnachtsschwimmfest
51	19.12.	25.12.	17,0	12,4	-	0,5	-	-	0,5	4,1	8	4,0	115	-	20	105	aktive Wiederherstellung
52	26.12.	01.01.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	240	60	120	60	aktive Wiederherstellung

GA I Grundlagenausdauer I
GA II Grundlagenausdauer II
S Schnelligkeit
SA Schnelligkeitsausdauer
wA wettkampfspezifische Ausdauer
i.B. intensiver Bereich (GA II, S, SA, wA)
Ko Kompensationstraining

St W Trainingsstunden Wasser
St La Trainingsstunden Land
aK allgemeine Kraft
K spezifische Kraft
L/D Lockerung / Dehnung
B/R Bauch / Rücken

Tab. A 28: Die mittlere Leistung der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)

Pb.	Seite	mittlere Leistung [W]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
14	li.	195,4 ± 24,7	197,3 ± 19,2	199,9 ± 31,3	191,9 ± 24,1
	re.	200,1 ± 26,6	206,5 ± 18,5	214,7 ± 26,6	206,4 ± 18,7
15	li.	147,9 ± 11,4	144,8 ± 11,4	133,8 ± 13,1	130,9 ± 19,3
	re.	162,6 ± 14,2	155,4 ± 14,9	145,2 ± 12,3	146,2 ± 22,5
16	li.	171,2 ± 22,1	152,4 ± 14,9	131,0 ± 14,0	122,9 ± 12,8
	re.	171,7 ± 22,9	158,4 ± 10,3	127,1 ± 10,8	121,5 ± 12,9
17	li.	150,6 ± 23,4	161,5 ± 21,1	143,4 ± 16,4	133,6 ± 16,0
	re.	142,8 ± 27,8	164,7 ± 21,1	149,6 ± 16,2	139,4 ± 12,8
18	li.	230,7 ± 17,6	261,8 ± 23,0	227,6 ± 26,8	205,9 ± 24,7
	re.	245,4 ± 15,0	287,7 ± 25,6	254,7 ± 28,3	229,8 ± 31,2
19	li.	127,9 ± 14,5	122,3 ± 13,4	125,5 ± 16,4	112,8 ± 13,5
	re.	133,2 ± 12,8	131,0 ± 13,9	132,1 ± 17,9	116,7 ± 13,0
21	li.	143,0 ± 22,6	190,1 ± 15,6	199,2 ± 23,3	171,4 ± 18,2
	re.	167,3 ± 19,0	191,0 ± 15,3	217,1 ± 25,6	177,6 ± 21,2
22	li.	136,4 ± 18,3	167,5 ± 21,2	169,3 ± 24,9	161,7 ± 21,6
	re.	141,7 ± 19,9	169,3 ± 15,4	175,8 ± 24,4	174,4 ± 20,9

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 29: Die mittlere Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)

Pb.	Seite	mittlere Kraft [N]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
14	li.	91,6 ± 6,7	90,0 ± 5,3	92,7 ± 8,2	90,8 ± 6,4
	re.	94,0 ± 6,8	93,2 ± 4,9	98,7 ± 7,0	96,6 ± 5,1
15	li.	83,7 ± 3,2	81,6 ± 8,0	77,9 ± 3,7	78,8 ± 6,2
	re.	89,4 ± 4,5	86,6 ± 12,1	83,7 ± 3,6	85,7 ± 7,0
16	li.	85,6 ± 6,3	82,7 ± 4,7	76,9 ± 4,6	76,0 ± 4,0
	re.	86,4 ± 6,6	86,1 ± 3,1	77,7 ± 3,3	76,9 ± 4,4
17	li.	80,7 ± 7,0	86,2 ± 6,4	81,8 ± 4,9	77,8 ± 5,1
	re.	79,6 ± 8,4	88,5 ± 6,2	85,1 ± 4,9	81,6 ± 4,1
18	li.	96,0 ± 4,5	104,6 ± 5,7	97,6 ± 6,8	92,6 ± 6,3
	re.	101,2 ± 4,0	112,8 ± 6,2	106,4 ± 7,0	101,3 ± 7,8
19	li.	75,7 ± 4,9	72,2 ± 4,3	74,6 ± 5,5	72,1 ± 4,27
	re.	77,5 ± 4,4	75,5 ± 4,1	78,4 ± 5,7	75,7 ± 4,29
21	li.	74,9 ± 5,4	88,4 ± 4,0	88,4 ± 6,5	83,4 ± 5,4
	re.	82,9 ± 5,1	89,8 ± 4,2	96,2 ± 6,7	87,6 ± 6,1
22	li.	74,2 ± 7,4	82,2 ± 5,8	82,7 ± 6,6	82,1 ± 5,7
	re.	75,6 ± 5,9	84,8 ± 4,1	86,3 ± 6,5	88,6 ± 5,8

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 30: Maximale Kraft der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)

Pb.	Seite	maximale Kraft [N]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
14	li.	123,5 ± 6,0	114,9 ± 6,3	119,2 ± 8,1	115,0 ± 7,5
	re.	120,9 ± 5,5	116,7 ± 5,8	124,8 ± 7,3	122,5 ± 6,1
15	li.	126,7 ± 8,2	123,9 ± 8,0	122,1 ± 11,2	124,7 ± 10,9
	re.	127,4 ± 8,4	121,5 ± 12,1	131,3 ± 7,5	134,2 ± 11,7
16	li.	111,5 ± 7,4	112,5 ± 6,6	103,7 ± 8,6	104,7 ± 7,5
	re.	117,5 ± 7,7	118,7 ± 4,9	112,6 ± 5,9	107,2 ± 8,9
17	li.	97,8 ± 9,7	106,2 ± 8,3	104,3 ± 5,3	99,3 ± 6,7
	re.	96,5 ± 12,0	120,2 ± 6,2	114,8 ± 6,5	111,3 ± 7,6
18	li.	114,9 ± 6,7	127,9 ± 8,2	118,4 ± 9,3	114,0 ± 7,3
	re.	123,4 ± 8,3	137,0 ± 8,5	129,4 ± 10,0	124,2 ± 12,3
19	li.	100,4 ± 6,2	95,7 ± 5,2	97,6 ± 6,4	93,9 ± 5,0
	re.	94,1 ± 6,3	92,7 ± 6,9	95,7 ± 6,7	92,7 ± 7,1
21	li.	99,1 ± 11,2	113,0 ± 9,8	121,5 ± 7,0	108,7 ± 10,2
	re.	102,9 ± 7,374	109,8 ± 6,4	119,7 ± 8,9	107,8 ± 9,6
22	li.	95,8 ± 6,3	109,9 ± 6,9	106,9 ± 13,4	109,9 ± 13,7
	re.	100,3 ± 8,9	110,6 ± 5,6	115,8 ± 9,0	113,8 ± 9,4

Tab. A 31: Der Zugweg der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)

Pb.	Seite	Zugweg [mm]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
14	li.	1490,4 ± 27,7	1526,3 ± 39,0	1542,5 ± 35,6	1533,1 ± 31,9
	re.	1492,7 ± 42,6	1506,7 ± 42,7	1521,2 ± 29,7	1517,6 ± 31,3
15	li.	1284,0 ± 30,9	1280,9 ± 31,1	1316,7 ± 25,1	1285,3 ± 32,2
	re.	1253,2 ± 46,8	1245,9 ± 42,2	1292,7 ± 37,6	1275,0 ± 32,1
16	li.	1315,4 ± 21,2	1335,1 ± 21,3	1319,1 ± 32,9	1313,5 ± 25,0
	re.	1308,6 ± 23,1	1350,0 ± 19,0	1290,1 ± 33,0	1299,9 ± 30,5
17	li.	1286,0 ± 35,6	1238,3 ± 28,3	1238,6 ± 21,9	1247,3 ± 29,7
	re.	1278,2 ± 35,1	1260,4 ± 22,6	1243,4 ± 23,7	1254,9 ± 19,1
18	li.	1572,6 ± 16,4	1623,1 ± 22,1	1603,6 ± 22,5	1551,8 ± 26,0
	re.	1545,4 ± 18,4	1596,1 ± 21,8	1578,6 ± 20,6	1528,0 ± 25,7
19	li.	1389,3 ± 21,9	1378,7 ± 22,9	1364,9 ± 49,3	1356,6 ± 30,5
	re.	1349,5 ± 30,1	1352,1 ± 26,9	1320,2 ± 43,8	1303,4 ± 26,3
21	li.	1432,0 ± 67,3	1477,7 ± 43,3	1524,1 ± 40,6	1518,9 ± 27,0
	re.	1463,2 ± 47,3	1473,4 ± 35,2	1514,1 ± 31,5	1517,8 ± 36,1
22	li.	1314,0 ± 36,2	1349,8 ± 23,0	1339,0 ± 21,0	1324,7 ± 21,5
	re.	1403,3 ± 24,5	1292,2 ± 42,9	1328,4 ± 24,5	1254,4 ± 42,9

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 32: Die Zugzeit der Probanden am AKZ für die 4 Tests (Trainingsgruppe II)

Pb.	Seite	Zugzeit [ms]			
		1. Messung*	2. Messung*	3. Messung*	4. Messung*
14	li.	740,5 ± 32,8	740,1 ± 30,6	771,2 ± 41,2	780,1 ± 33,5
	re.	755,4 ± 25,4	739,9 ± 28,3	761,8 ± 34,0	774,8 ± 30,8
15	li.	760,6 ± 26,2	751,4 ± 19,6	798,3 ± 41,5	808,5 ± 46,5
	re.	717,9 ± 26,4	722,0 ± 20,3	771,5 ± 42,8	774,5 ± 44,6
16	li.	698,9 ± 31,2	760,4 ± 23,3	818,2 ± 28,0	852,2 ± 39,6
	re.	702,2 ± 38,8	778,4 ± 25,0	828,7 ± 32,8	871,5 ± 39,9
17	li.	763,0 ± 49,8	711,0 ± 36,8	752,7 ± 36,3	780,5 ± 38,9
	re.	782,4 ± 55,9	716,1 ± 32,4	747,2 ± 31,0	777,7 ± 30,6
18	li.	735,0 ± 22,0	715,0 ± 22,5	757,5 ± 32,7	766,9 ± 26,6
	re.	716,1 ± 16,7	684,8 ± 23,9	721,3 ± 31,9	735,0 ± 32,1
19	li.	944,8 ± 41,1	916,6 ± 46,2	901,8 ± 41,5	958,0 ± 47,0
	re.	919,5 ± 41,4	862,6 ± 25,7	867,2 ± 39,2	926,3 ± 43,9
21	li.	893,2 ± 41,1	766,2 ± 47,0	750,4 ± 29,3	806,5 ± 38,8
	re.	844,3 ± 38,7	771,2 ± 37,1	722,5 ± 26,8	810,3 ± 41,3
22	li.	984,5 ± 56,6	782,0 ± 18,8	766,0 ± 34,1	766,8 ± 39,2
	re.	932,3 ± 60,1	734,9 ± 18,1	751,1 ± 39,5	723,0 ± 41,8

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 33: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Leistung der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)

Proband	Messung	mittlere Leistung (P_{mit})				
		abs. Diff. [W]*	proz. Diff. [%]*	r	r^2	b
14	1.	4,7 ± 12,3	2,4 ± 6,2	0,8943	0,7997	-0,0516
	2.	9,1 ± 13,8	4,4 ± 6,7	0,7344	0,5394	0,0945
	3.	14,8 ± 14,5	6,9 ± 6,7	0,8866	0,7860	0,2074
	4.	14,5 ± 15,2	7,0 ± 7,4	0,7758	0,6019	0,2775
15	1.	14,7 ± 12,0	9,0 ± 7,4	0,5778	0,3339	-0,3451
	2.	10,6 ± 10,4	6,9 ± 6,7	0,7251	0,5258	-0,1064
	3.	11,4 ± 11,0	7,9 ± 7,6	0,6234	0,3886	-0,1507
	4.	15,2 ± 10,4	10,5 ± 7,1	0,8922	0,7960	-0,1651
16	1.	0,5 ± 13,0	0,3 ± 7,6	0,8347	0,6967	0,0947
	2.	6,0 ± 13,8	3,8 ± 8,7	0,4462	0,1991	0,2661
	3.	-3,8 ± 12,6	2,8 ± 9,6	0,5043	0,2543	0,2797
	4.	-1,4 ± 11,7	1,1 ± 9,6	0,5145	0,2647	-0,1120
17	1.	-7,7 ± 9,8	5,1 ± 6,5	0,9410	0,8855	-0,1680
	2.	3,2 ± 5,4	2,0 ± 5,4	0,9054	0,8197	-0,0086
	3.	6,3 ± 10,4	4,2 ± 7,0	0,7859	0,6176	-0,0973
	4.	5,8 ± 10,6	4,2 ± 7,6	0,7477	0,5590	0,1310
18	1.	14,7 ± 12,6	6,0 ± 5,1	0,7120	0,5069	0,1811
	2.	25,9 ± 9,3	9,0 ± 3,2	0,9334	0,8713	-0,1366
	3.	27,1 ± 10,0	10,7 ± 3,9	0,9354	0,8750	-0,0660
	4.	23,9 ± 12,9	10,4 ± 5,6	0,9185	0,8437	-0,3065
19	1.	5,3 ± 6,7	4,0 ± 5,0	0,8866	0,7861	0,0855
	2.	8,7 ± 7,5	6,6 ± 5,7	0,8359	0,6988	0,0550
	3.	6,6 ± 6,8	5,0 ± 5,1	0,9285	0,8621	-0,0796
	4.	3,9 ± 7,9	3,3 ± 6,8	0,8233	0,6779	0,1084
21	1.	24,3 ± 15,5	14,5 ± 9,3	0,7344	0,5394	0,3222
	2.	2,3 ± 20,1	1,2 ± 10,6	0,4652	0,2164	-0,5328
	3.	17,9 ± 14,1	8,2 ± 6,5	0,8465	0,7166	-0,0471
	4.	6,2 ± 14,6	3,5 ± 8,2	0,7351	0,5404	0,0013
22	1.	5,3 ± 17,2	3,8 ± 12,1	0,5972	0,3567	-0,4201
	2.	1,9 ± 14,4	1,1 ± 8,5	0,7428	0,5518	0,2511
	3.	6,5 ± 11,9	3,7 ± 6,8	0,8848	0,7829	0,0579
	4.	12,7 ± 12,4	7,3 ± 7,1	0,8247	0,6801	0,0431

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 34: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die mittlere Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)

Proband	Messung	mittlere Kraft (F_{mit})				
		abs. Diff. [W]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
14	1.	2,3 ± 3,0	2,6 ± 3,2	0,9061	0,8210	-0,0022
	2.	3,2 ± 3,3	3,4 ± 6,7	0,7979	0,6366	0,0285
	3.	6,0 ± 3,5	6,1 ± 6,7	0,9042	0,8175	0,0526
	4.	5,8 ± 3,7	6,0 ± 7,4	0,8110	0,6578	0,0612
15	1.	5,8 ± 3,7	6,4 ± 7,4	0,5649	0,3191	-0,1048
	2.	5,0 ± 2,9	5,8 ± 6,7	0,7852	0,6166	-0,0345
	3.	5,8 ± 3,3	6,9 ± 7,6	0,6011	0,3613	-0,0421
	4.	6,9 ± 3,0	8,1 ± 7,1	0,9032	0,8157	-0,0367
16	1.	0,8 ± 3,5	0,9 ± 7,6	0,8545	0,7301	0,0208
	2.	3,4 ± 4,0	3,9 ± 8,7	0,5444	0,2964	0,0790
	3.	0,8 ± 3,8	1,0 ± 9,6	0,5656	0,3199	0,0932
	4.	1,0 ± 3,3	1,2 ± 9,6	0,6298	0,3967	-0,0425
17	1.	-1,1 ± 3,2	1,4 ± 6,5	0,9294	0,8637	-0,0578
	2.	2,3 ± 3,1	2,6 ± 5,4	0,9042	0,8175	0,0037
	3.	3,3 ± 2,9	3,9 ± 7,0	0,8163	0,6664	-0,0205
	4.	3,8 ± 3,3	4,7 ± 7,6	0,7669	0,5881	0,0410
18	1.	5,2 ± 3,1	5,1 ± 5,1	0,7434	0,5526	0,0308
	2.	8,0 ± 2,6	7,3 ± 3,2	0,9133	0,8341	-0,0320
	3.	8,8 ± 2,6	8,3 ± 3,9	0,9283	0,8617	-0,0146
	4.	8,6 ± 3,4	8,6 ± 5,6	0,9097	0,8275	-0,0757
19	1.	1,8 ± 2,8	2,3 ± 5,0	0,8273	0,6844	0,0300
	2.	3,3 ± 2,5	4,4 ± 5,7	0,8164	0,6665	0,0147
	3.	3,8 ± 2,5	4,8 ± 5,1	0,9126	0,8329	-0,0118
	4.	3,8 ± 2,5	4,8 ± 6,8	0,8369	0,7004	0,0178
21	1.	8,0 ± 3,9	9,7 ± 9,3	0,7290	0,5315	0,0523
	2.	1,7 ± 5,1	1,6 ± 10,6	0,5153	0,2655	-0,1082
	3.	7,8 ± 3,5	8,1 ± 6,5	0,8645	0,7474	0,0076
	4.	4,2 ± 4,0	4,8 ± 8,2	0,7647	0,5848	-0,0097
22	1.	1,5 ± 8,19	1,9 ± 12,1	0,2665	0,0710	-0,1907
	2.	2,6 ± 4,3	3,1 ± 8,5	0,6953	0,4835	0,0711
	3.	3,7 ± 3,4	4,2 ± 6,8	0,8652	0,7485	0,0001
	4.	6,4 ± 3,4	7,3 ± 7,1	0,8151	0,6644	-0,0088

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 35: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die maximale Kraft der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)

Proband	Messung	maximale Kraft (F_{\max})				
		abs. Diff. [W]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
14	1.	-2,7 ± 5,9	2,2 ± 4,9	0,5125	0,2627	0,0568
	2.	1,8 ± 5,4	1,5 ± 4,8	0,6084	0,3702	0,0188
	3.	5,5 ± 5,6	4,4 ± 4,5	0,7346	0,5396	0,0374
	4.	7,5 ± 6,0	6,1 ± 4,9	0,6304	0,3974	0,1219
15	1.	0,7 ± 10,3	0,6 ± 8,0	0,2409	0,0580	-0,1711
	2.	-2,3 ± 10,9	1,9 ± 9,0	0,4693	0,2203	-0,2829
	3.	9,2 ± 12,9	7,0 ± 9,9	0,0746	0,0056	-0,3867
	4.	9,5 ± 9,8	7,1 ± 7,3	0,6352	0,4035	-0,0710
16	1.	6,0 ± 6,0	5,1 ± 5,1	0,6847	0,4688	0,0103
	2.	6,2 ± 8,1	5,2 ± 6,8	0,0355	0,0013	0,1305
	3.	9,0 ± 7,9	8,0 ± 7,0	0,4680	0,2190	0,2205
	4.	2,5 ± 9,7	2,3 ± 9,1	0,3074	0,0945	-0,1604
17	1.	-1,4 ± 5,4	1,4 ± 5,6	0,8981	0,8066	-0,0995
	2.	14,0 ± 6,7	11,7 ± 5,6	0,5744	0,3299	0,1832
	3.	10,4 ± 6,0	9,1 ± 5,2	0,5042	0,2542	0,0667
	4.	12,0 ± 8,7	10,8 ± 7,8	0,2714	0,0736	0,1631
18	1.	8,2 ± 6,3	6,7 ± 5,1	0,6663	0,4439	-0,0441
	2.	9,1 ± 4,6	6,7 ± 3,3	0,8569	0,7342	-0,0116
	3.	11,0 ± 5,2	8,5 ± 4,0	0,8613	0,7418	-0,0368
	4.	10,2 ± 7,0	8,2 ± 5,4	0,8634	0,7455	-0,2231
19	1.	-6,3 ± 5,7	6,7 ± 6,1	0,5852	0,3424	-0,0231
	2.	-2,9 ± 6,3	3,2 ± 6,8	0,5129	0,2631	-0,1459
	3.	-1,9 ± 5,2	2,0 ± 5,4	0,7208	0,5196	-0,0675
	4.	-1,1 ± 7,3	1,2 ± 7,8	0,2938	0,0863	-0,1512
21	1.	3,8 ± 7,7	3,7 ± 7,5	0,7342	0,5390	0,2420
	2.	-2,8 ± 11,0	2,5 ± 10,0	0,1782	0,0317	-0,3379
	3.	-1,7 ± 8,6	1,4 ± 7,2	0,3560	0,1267	-0,1951
	4.	-0,9 ± 7,5	0,8 ± 6,9	0,7137	0,5094	0,0039
22	1.	4,6 ± 6,1	4,5 ± 6,1	0,7305	0,5336	-0,1484
	2.	0,8 ± 5,8	0,7 ± 5,2	0,6137	0,3766	0,0563
	3.	9,0 ± 7,1	7,7 ± 6,1	0,8706	0,7579	0,2317
	4.	3,9 ± 8,0	3,4 ± 7,0	0,8350	0,6972	0,1860

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 36: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für den Zugweg der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)

Proband	Messung	Zugweg (s)				
		abs. Diff. [W]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
14	1.	2,3 ± 49,5	0,2 ± 3,3	0,0522	0,0027	-1,2117
	2.	-19,6 ± 48,5	1,3 ± 3,2	0,2969	0,0558	0,2935
	3.	-21,3 ± 35,2	1,4 ± 2,3	0,4312	0,1860	0,0880
	4.	-15,5 ± 38,3	1,0 ± 2,5	0,2646	0,0700	0,7758
15	1.	-30,8 ± 48,2	2,5 ± 3,8	0,2855	0,0815	-1,2176
	2.	-35,0 ± 35,3	2,8 ± 2,8	0,5687	0,3235	-0,6644
	3.	-24,0 ± 44,7	1,9 ± 3,5	0,0267	0,0007	-1,4076
	4.	-10,2 ± 37,4	0,8 ± 2,9	0,3429	0,1176	-0,1733
16	1.	-6,8 ± 29,1	0,5 ± 2,2	0,1375	0,0189	0,3831
	2.	14,9 ± 21,9	1,1 ± 1,6	0,4134	0,1709	0,2859
	3.	-29,0 ± 31,3	2,2 ± 2,4	0,5461	0,2986	0,4024
	4.	-13,6 ± 34,0	1,0 ± 2,6	0,2614	0,0683	-0,2635
17	1.	-7,8 ± 26,9	0,6 ± 2,1	0,7100	0,5041	-0,1336
	2.	22,1 ± 26,9	1,8 ± 2,1	0,3767	0,1419	0,1908
	3.	4,8 ± 28,3	0,4 ± 2,3	0,2195	0,0482	-0,0283
	4.	7,6 ± 33,5	0,6 ± 2,7	0,1095	0,0120	0,4786
18	1.	-27,3 ± 22,1	1,8 ± 1,4	0,1926	0,0371	0,2061
	2.	-27,0 ± 28,3	1,7 ± 1,8	0,1752	0,0307	0,2295
	3.	-25,0 ± 27,8	1,6 ± 1,8	0,1258	0,0158	0,5090
	4.	-23,8 ± 26,8	1,6 ± 1,8	0,4602	0,2118	0,1441
19	1.	-39,8 ± 25,9	2,9 ± 1,9	0,5407	0,2923	-0,4374
	2.	-26,6 ± 31,2	2,0 ± 2,3	0,2282	0,0521	-0,7203
	3.	-44,6 ± 37,2	3,4 ± 2,8	0,6918	0,4786	-0,4566
	4.	-53,2 ± 35,7	4,1 ± 2,7	0,3046	0,0928	-0,3584
21	1.	31,1 ± 58,0	2,1 ± 4,0	0,5353	0,2866	1,4168
	2.	-4,3 ± 53,1	0,3 ± 3,6	0,1545	0,0239	-0,3796
	3.	-10,0 ± 39,0	0,7 ± 2,6	0,4938	0,2438	0,7183
	4.	-1,2 ± 37,5	0,1 ± 2,5	0,3209	0,1030	-0,5787
22	1.	89,4 ± 31,3	6,4 ± 2,2	0,5249	0,2755	-0,4039
	2.	-57,6 ± 47,4	4,5 ± 3,7	0,0270	0,0007	0,9847
	3.	-10,6 ± 28,1	0,8 ± 2,1	0,2826	0,0799	0,1483
	4.	-70,3 ± 45,5	5,6 ± 3,6	0,0429	0,0018	-0,3386

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 37: Absolute und prozentuale Differenzen sowie Korrelationskoeffizienten, Bestimmtheitsmaße und Regressionskoeffizienten für die Zugzeit der 4 Tests von den Probanden (Trainingsgruppe II)

Proband	Messung	Zugzeit (t)				
		abs. Diff. [W]*	proz. Diff. [%]*	r	r ²	b
14	1.	14,9 ± 24,7	2,0 ± 3,3	0,7026	0,4936	-0,3569
	2.	-0,2 ± 23,6	0,0 ± 3,2	0,6811	0,4638	-0,0964
	3.	-9,4 ± 30,4	1,2 ± 4,0	0,6891	0,4748	-0,4628
	4.	-5,4 ± 26,6	0,7 ± 3,4	0,6605	0,4362	-0,3041
15	1.	-42,7 ± 25,7	5,9 ± 3,6	0,5227	0,2732	0,0776
	2.	-29,4 ± 25,4	4,1 ± 3,5	0,1746	0,0305	-0,1605
	3.	-26,8 ± 34,0	3,5 ± 4,4	0,6744	0,4548	-0,0452
	4.	-34,0 ± 33,8	4,4 ± 4,4	0,7183	0,5159	0,0463
16	1.	3,3 ± 26,8	0,5 ± 3,8	0,7267	0,5280	0,1369
	2.	18,0 ± 33,3	2,3 ± 4,3	0,0537	0,0029	-0,4666
	3.	10,5 ± 39,9	1,3 ± 4,8	0,1354	0,0183	-0,6256
	4.	19,3 ± 52,3	2,2 ± 6,0	0,1332	0,0177	0,3650
17	1.	19,4 ± 31,7	2,5 ± 4,1	0,8263	0,6828	0,2807
	2.	5,1 ± 24,3	0,7 ± 3,4	0,7356	0,5411	-0,1017
	3.	-5,5 ± 33,0	0,7 ± 4,4	0,5379	0,2893	0,1742
	4.	-2,8 ± 4,3	0,4 ± 4,3	0,5612	0,3150	-0,2709
18	1.	-18,9 ± 23,3	2,6 ± 3,2	0,3010	0,0906	-0,1867
	2.	-30,3 ± 17,2	4,4 ± 2,5	0,7261	0,5273	0,1245
	3.	-36,2 ± 24,3	5,0 ± 3,4	0,7148	0,5110	0,0762
	4.	-31,9 ± 24,3	4,3 ± 3,3	0,6725	0,4523	0,4271
19	1.	-25,3 ± 42,8	2,8 ± 4,6	0,4631	0,2144	-0,4153
	2.	-54,0 ± 34,1	6,3 ± 3,9	0,6218	0,4249	-1,0227
	3.	-34,6 ± 29,8	4,0 ± 3,4	0,6861	0,4707	-0,2019
	4.	-31,7 ± 35,8	3,4 ± 3,9	0,6882	0,4737	-0,8296
21	1.	-48,9 ± 48,0	5,8 ± 5,7	0,2768	0,0766	0,3267
	2.	5,0 ± 41,8	0,6 ± 5,4	0,5267	0,2774	0,7359
	3.	-27,9 ± 22,7	3,9 ± 3,1	0,6558	0,4301	-0,1023
	4.	3,8 ± 42,1	0,5 ± 5,2	0,4486	0,2013	-0,1793
22	1.	-52,2 ± 39,8	5,6 ± 4,3	0,7684	0,5904	0,0823
	2.	-47,1 ± 25,5	6,4 ± 3,5	0,0299	0,0009	0,1565
	3.	-14,9 ± 27,2	2,0 ± 3,6	0,7336	0,5382	0,1980
	4.	-43,8 ± 32,5	6,1 ± 4,5	0,6857	0,4701	-0,0134

* (Mw. ± SD.)

Tab. A 38: p-Werte der Signifikanztests der Absolutwerte von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), maximalen Kraft (F_{max}), des Zugweges (t) und der Zugzeit (s) zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen

		Testgruppe (n = 7)				Kontrollgruppe (n = 10)			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
Testgruppe (n = 7)	1. Mess.	P_{mit}	-	0,0028	0,0587	0,1557	0,3114	-	-
		F_{mit}	-	0,0050	0,0139	0,0323	0,4603	-	-
		F_{max}	-	0,0071	0,0172	0,0348	0,6576	-	-
		s	-	0,1821	0,2127	0,6090	0,2375	-	-
		t	-	0,1050	0,2499	0,2464	0,8679	-	-
	2. Mess.	P_{mit}	0,0028	-	0,6315	0,2411	-	0,1223	-
		F_{mit}	0,0050	-	0,7326	0,3747	-	0,1958	-
		F_{max}	0,0071	-	0,9735	0,8454	-	0,2921	-
		s	0,1821	-	0,4235	0,5718	-	0,0421	-
		t	0,1050	-	0,3737	0,3226	-	0,8331	-
	3. Mess.	P_{mit}	0,0587	0,6315	-	0,3957	-	-	0,0569
		F_{mit}	0,0139	0,7326	-	0,5519	-	-	0,0599
		F_{max}	0,0172	0,9735	-	0,8488	-	-	0,1873
		s	0,2127	0,4235	-	0,0109	-	-	0,0307
		t	0,2499	0,3737	-	0,8485	-	-	0,8610
	4. Mess.	P_{mit}	0,1557	0,2411	0,3957	-	-	-	0,0945
		F_{mit}	0,0323	0,3747	0,5519	-	-	-	0,1055
		F_{max}	0,0348	0,8454	0,8488	-	-	-	0,2543
		s	0,6090	0,5718	0,0109	-	-	-	0,0860
		t	0,2464	0,3226	0,8485	-	-	-	0,8149
Kontrollgruppe (n = 10)	1. Mess.	P_{mit}	0,3114	-	-	-	-	0,0446	0,5061
		F_{mit}	0,4603	-	-	-	-	0,0163	0,3239
		F_{max}	0,6576	-	-	-	-	0,0778	0,2550
		s	0,2375	-	-	-	-	0,1001	0,1056
		t	0,8679	-	-	-	-	0,0589	0,2825
	2. Mess.	P_{mit}	-	0,1223	-	-	0,0446	-	0,1893
		F_{mit}	-	0,1958	-	-	0,0163	-	0,1273
		F_{max}	-	0,2921	-	-	0,0778	-	0,2742
		s	-	0,0421	-	-	0,1001	-	0,8789
		t	-	0,8331	-	-	0,0589	-	0,5255
	3. Mess.	P_{mit}	-	-	0,0569	-	0,5061	0,1893	-
		F_{mit}	-	-	0,0599	-	0,3239	0,1273	-
		F_{max}	-	-	0,1873	-	0,2550	0,2742	-
		s	-	-	0,0307	-	0,1056	0,8789	-
		t	-	-	0,8610	-	0,2825	0,5255	-
	4. Mess.	P_{mit}	-	-	-	0,0945	0,6675	0,0729	0,5804
		F_{mit}	-	-	-	0,1055	0,2357	0,0396	0,9176
		F_{max}	-	-	-	0,2543	0,1249	0,4091	0,8338
		s	-	-	-	0,0860	0,0819	0,8960	0,9893
		t	-	-	-	0,8149	0,4114	0,4545	0,6573

Tab. A 39: p-Werte der Signifikanztests der absoluten Seitendifferenzen von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), maximalen Kraft (F_{max}), des Zugweges (t) und der Zugzeit (t) zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen

		Testgruppe (n = 7)				Kontrollgruppe (n = 10)			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
Testgruppe (n = 7)	1. Mess.	P_{mit}	-	0,6929	0,2930	0,9973	0,0093	-	-
		F_{mit}	-	0,4183	0,0624	0,4634	0,2570	-	-
		F_{max}	-	0,7455	0,9606	0,2250	0,5839	-	-
		s	-	0,0024	0,0044	0,0351	0,0121	-	-
		t	-	0,9789	0,8592	0,8274	0,2548	-	-
	2. Mess.	P_{mit}	0,6929	-	0,5215	0,4721	-	0,0699	-
		F_{mit}	0,4183	-	0,5434	0,7765	-	0,2083	-
		F_{max}	0,7455	-	0,8168	0,2623	-	0,6098	-
		s	0,0024	-	0,4876	0,9428	-	0,9941	-
		t	0,9789	-	0,8582	0,6624	-	0,8205	-
	3. Mess.	P_{mit}	0,2930	0,5215	-	0,1238	-	-	0,0384
		F_{mit}	0,0624	0,5434	-	0,2661	-	-	0,0762
		F_{max}	0,9606	0,8168	-	0,1264	-	-	0,2808
		s	0,0044	0,4876	-	0,5469	-	-	0,7921
		t	0,8592	0,8582	-	0,9482	-	-	0,2129
	4. Mess.	P_{mit}	0,9973	0,4721	0,1238	-	-	-	0,1603
		F_{mit}	0,4634	0,7765	0,2661	-	-	-	0,1641
		F_{max}	0,2250	0,2623	0,1264	-	-	-	0,1018
		s	0,0351	0,9428	0,5469	-	-	-	0,2871
		t	0,8274	0,6624	0,9482	-	-	-	0,9119
Kontrollgruppe (n = 10)	1. Mess.	P_{mit}	0,0093	-	-	-	0,2150	0,1778	0,2810
		F_{mit}	0,2570	-	-	-	0,3981	0,3247	0,5023
		F_{max}	0,5839	-	-	-	0,1418	0,1127	0,2675
		s	0,0121	-	-	-	0,2043	0,8934	0,1369
		t	0,2548	-	-	-	0,4384	0,9159	0,1808
	2. Mess.	P_{mit}	-	0,0699	-	0,2150	-	0,5151	0,7890
		F_{mit}	-	0,2083	-	0,3981	-	0,7422	0,8933
		F_{max}	-	0,6098	-	0,1418	-	0,7175	0,9065
		s	-	0,9941	-	0,2043	-	0,3986	0,0139
		t	-	0,8205	-	0,4384	-	0,2427	0,8052
	3. Mess.	P_{mit}	-	-	0,0384	0,1778	0,5151	-	0,7038
		F_{mit}	-	-	0,0762	0,3247	0,7422	-	0,5270
		F_{max}	-	-	0,2808	0,1127	0,7175	-	0,5535
		s	-	-	0,7921	0,8934	0,3986	-	0,1703
		t	-	-	0,2129	0,9159	0,2427	-	0,0553
	4. Mess.	P_{mit}	-	-	-	0,2810	0,7890	0,7038	-
		F_{mit}	-	-	-	0,5023	0,8933	0,5270	-
		F_{max}	-	-	-	0,2675	0,9065	0,5535	-
		s	-	-	-	0,1369	0,0139	0,1703	-
		t	-	-	-	0,1808	0,8052	0,0553	-

Tab. A 40: p-Werte der Signifikanztests der prozentualen Seitendifferenzen von der mittleren Leistung (P_{mit}), mittleren Kraft (F_{mit}), maximalen Kraft (F_{max}), des Zugweges (s) und der Zugzeit (t) zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen

		Testgruppe (n = 7)				Kontrollgruppe (n = 10)			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
Testgruppe (n = 7)	1. Mess.	P_{mit}	-	0,9642	0,6450	0,7078	0,0133	-	-
		F_{mit}	-	0,6253	0,1613	0,6419	0,2523	-	-
		F_{max}	-	0,8773	0,6932	0,1305	0,9294	-	-
		s	-	0,0014	0,0502	0,0664	0,0161	-	-
		t	-	0,8767	0,9318	0,9897	0,2921	-	-
	2. Mess.	P_{mit}	0,9642	-	0,4146	0,6724	-	0,2499	-
		F_{mit}	0,6253	-	0,5172	0,8916	-	0,4164	-
		F_{max}	0,8773	-	0,8336	0,2517	-	0,4509	-
		s	0,0014	-	0,4836	0,9133	-	0,9178	-
		t	0,8767	-	0,9088	0,7244	-	0,8352	-
	3. Mess.	P_{mit}	0,6450	0,4146	-	0,1529	-	-	0,1516
		F_{mit}	0,1613	0,5172	-	0,3269	-	-	0,1713
		F_{max}	0,6932	0,8336	-	0,1034	-	-	0,1710
		s	0,0502	0,4836	-	0,4735	-	-	0,7011
		t	0,9318	0,9088	-	0,9349	-	-	0,2083
	4. Mess.	P_{mit}	0,7078	0,6724	0,1529	-	-	-	0,4631
		F_{mit}	0,6419	0,8916	0,3269	-	-	-	0,3302
		F_{max}	0,1305	0,2517	0,1034	-	-	-	0,0755
		s	0,0664	0,9133	0,4735	-	-	-	0,2778
		t	0,9897	0,7244	0,9349	-	-	-	0,9315
Kontrollgruppe (n = 10)	1. Mess.	P_{mit}	0,0133	-	-	-	0,2894	0,2066	0,2649
		F_{mit}	0,2523	-	-	-	0,3537	0,2627	0,4408
		F_{max}	0,9294	-	-	-	0,3272	0,2779	0,5757
		s	0,0161	-	-	-	0,1736	0,8630	0,1350
		t	0,2921	-	-	-	0,3894	0,9894	0,1630
	2. Mess.	P_{mit}	-	0,2499	-	0,2894	-	0,6115	0,7613
		F_{mit}	-	0,4164	-	0,3537	-	0,7776	0,9152
		F_{max}	-	0,4509	-	0,3272	-	0,6047	0,8607
		s	-	0,9178	-	0,1736	-	0,3585	0,0153
		t	-	0,8352	-	0,3894	-	0,2260	0,8065
	3. Mess.	P_{mit}	-	-	0,1516	0,2066	0,6115	-	0,9038
		F_{mit}	-	-	0,1713	0,2627	0,7776	-	0,6018
		F_{max}	-	-	0,1710	0,2779	0,6047	-	0,4615
		s	-	-	0,7011	0,8630	0,3585	-	0,1763
		t	-	-	0,2083	0,9894	0,2260	-	0,0480
	4. Mess.	P_{mit}	-	-	-	0,2649	0,7613	0,9038	-
		F_{mit}	-	-	-	0,4408	0,9152	0,6018	-
		F_{max}	-	-	-	0,5757	0,8607	0,4615	-
		s	-	-	-	0,1350	0,0153	0,1763	-
		t	-	-	-	0,1630	0,8065	0,0480	-

Tab. A 41: p-Werte der Signifikanztests für die Laktatwerte in Ruhe, nach Belastung und 3 Minuten nach Belastung zwischen den einzelnen Messungen und Gruppen

		Testgruppe (n = 7)				Kontrollgruppe (n = 10)			
		1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
Testgruppe (n = 7)	1. M. Ruhe	-	0,7780	0,6548	0,0296	0,4131	-	-	-
	NB	-	0,2617	0,3894	0,3248	0,6415	-	-	-
	3 NB	-	0,5170	0,8895	0,3978	0,2638	-	-	-
	2. M. Ruhe	0,7780	-	0,7731	0,0288	-	0,6741	-	-
	NB	0,2617	-	0,1548	0,2345	-	0,1494	-	-
	3 NB	0,5170	-	0,6918	0,3054	-	0,0834	-	-
	3. M. Ruhe	0,6548	0,7731	-	0,0384	-	-	0,4104	-
	NB	0,3894	0,1548	-	0,9313	-	-	0,2822	-
	3 NB	0,8895	0,6918	-	0,3553	-	-	0,2429	-
	4. M. Ruhe	0,0296	0,0288	0,0384	-	-	-	-	0,3502
	NB	0,3248	0,2345	0,9313	-	-	-	-	0,1178
	3 NB	0,3978	0,3054	0,3553	-	-	-	-	0,0933
Kontrollgruppe (n = 10)	1. M. Ruhe	0,4131	-	-	-	-	0,7443	0,6128	0,9779
	NB	0,6415	-	-	-	-	0,4605	0,0245	0,0271
	3 NB	0,2638	-	-	-	-	0,4387	0,6486	0,1244
	2. M. Ruhe	-	0,6741	-	-	0,7443	-	0,2849	0,8720
	NB	-	0,1494	-	-	0,4605	-	0,1501	0,0452
	3 NB	-	0,0834	-	-	0,4387	-	0,8681	0,0651
	3. M. Ruhe	-	-	0,4104	-	0,6128	0,2849	-	0,5576
	NB	-	-	0,2822	-	0,0245	0,1501	-	0,4264
	3 NB	-	-	0,2429	-	0,6486	0,8681	-	0,1756
	4. M. Ruhe	-	-	-	0,3502	0,9779	0,8720	0,5576	-
	NB	-	-	-	0,1178	0,0271	0,0452	0,4264	-
	3 NB	-	-	-	0,0933	0,1244	0,0651	0,1756	-

Tab. A 42: Absolute und prozentuale Differenzen (Mw. \pm SD.) der Zeiten von vorderer Bewegungsumkehr bis Zugbeginn (t_1) der Test- ($n = 7$) sowie der Kontrollgruppe ($n = 10$)

Differenzen der Zeiten von vorderer Bewegungsumkehr bis Zugbeginn (t_1)					
Gruppe	Diff.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
T	abs. [ms]	21,5 \pm 36,2	9,1 \pm 11,9	9,6 \pm 8,8	6,1 \pm 4,0
	proz. [%]	25,5 \pm 42,9	15,8 \pm 20,8	17,7 \pm 16,2	12,1 \pm 8,0
K	abs. [ms]	15,8 \pm 19,6	11,8 \pm 11,2	9,2 \pm 12,5	9,3 \pm 9,5
	proz. [%]	22,2 \pm 27,5	19,5 \pm 18,4	14,8 \pm 20,1	16,6 \pm 16,9

Tab. A 43: Absolute Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für Schmetterling und Freistil sowie deren Signifikanzniveau für den Schwimmer Pb 18 ($n = 18$)

	Schmetterling	Freistil	p
P_{mit} [W]	12,92 \pm 5,89	19,97 \pm 11,77	0,016
F_{mit} [N]	5,96 \pm 3,60	3,18 \pm 2,64	0,009
v_{max} [m/s]	0,07 \pm 0,05	0,28 \pm 0,08	< 0,001
s [mm]	47,83 \pm 14,41	38,83 \pm 18,81	0,054
t [ms]	21,28 \pm 9,97	42,48 \pm 18,74	< 0,001

Tab. A 44: Prozentuale Seitendifferenzen (Mw. \pm SD.) von P_{mit} , F_{mit} , v_{max} , s und t für Schmetterling und Freistil sowie deren Signifikanzniveau für den Schwimmer Pb 18 ($n = 18$)

	Schmetterling	Freistil	p
P_{mit} [W]	4,76 \pm 2,03	7,62 \pm 3,92	0,010
F_{mit} [N]	5,22 \pm 3,14	2,96 \pm 2,76	0,008
v_{max} [m/s]	1,94 \pm 1,26	7,61 \pm 2,25	< 0,001
s [mm]	3,45 \pm 0,98	2,82 \pm 1,33	0,058
t [ms]	3,42 \pm 1,68	6,50 \pm 2,83	< 0,001

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich vom ganzen Herzen allen Danken, die mich unterstützt und mir geholfen haben, diese Arbeit fertig zu stellen.

In erster Linie gilt mein aufrichtiger Dank meinem Betreuer Prof. Dr. med. Roland Wolff, der mir als Doktorvater mit seiner konstruktiven Kritik viele Denkanstöße gegeben und damit vor allem die Diskussion der Ergebnisse zunehmend vervollkommen hat. Nicht zu letzt war es nur mit ihm als Projektleiter möglich gewesen, im Laufe meiner Arbeit in seiner Abteilung zwei drittmittelfinanzierte Forschungsprojekte selbstständig zu beantragen, durchzuführen, auszuwerten und erfolgreich abzuschließen. Mein Dank geht ebenso an Dr. med. Lars Brechtel, der mich insbesondere in der Phase der statistischen Auswertungen und Ergebnisinterpretationen unterstützte.

Ich danke ebenfalls Dr. Maren Witt vom Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (Leipzig) für die Bereitstellung von Messdaten aus komplexen Leistungsdiagnostiken von Hochleistungsschwimmern für eigene Auswertungen und für die kritischen Diskussionen dieser Ergebnisse. Vor allem möchte ich Dr. Ralf Buckwitz vom Olympiastützpunkt Berlin danken für die unkomplizierte Nutzung der Geräte wie die Armkraftzuggeräte, den Strömungskanal sowie diverse Räumlichkeiten. Des weiteren möchte ich auch den drei MTAs vom OSP-Berlin Ursula Hartmann, Andrea Rätsch und Monika Marbach sowie der ehemaligen MTA der Sportmedizin der HU-Berlin Birgit Neumann danken, die mir immer bei Problemen und Fragen zur Laktatdiagnostik hilfreich zur Seite standen. David Wollburg und Klaus Rölle vom Institut für Entwicklung von Sportgeräten (FES) möchte ich danken für die schnelle und konstruktive Hilfe bei Problemen mit der Mess- und Steuerungssoftware vom Armkraftzuggerät sowie bei der gemeinsamen Weiterentwicklung des Armkraftzuggerätes für weitere Projekte.

Nicht zu vergessen ist Dr. Tom Krüger vom Sportinstitut der Universität Potsdam, dem ich besonders danke für die kostenlose und auch unkomplizierte Leihgabe eines Armkraftzuggerätes für die Zeit der Durchführung des Trainingsexperimentes. Danken möchte ich auch den Trainern Norbert Warnatzsch, Frank Weib und Harald Gampe sowie den 22 Leistungsschwimmern für die Zusammenarbeit und Teilnahme an diesem Trainingsexperiment.

Vor allem gilt mein tiefster Dank meiner Lebenspartnerin Janett Porstmann, die mich oft motivierte und mir auch die Zeit gab, die Dissertation zu beenden. Und ich möchte auch meiner Tochter Sina danken, die mir an so manchen Nachmittagen und Abenden am Wochenende einige Stunden zur Fertigstellung meiner Arbeit schenkte.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass die vorliegende Arbeit zum Thema „Lateralität beim Leistungsschwimmen“ von mir selbständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die hier angegebenen verwendet wurden.

Alle Zitate sowie sinngemäße wörtliche Wiedergaben, die anderen Werken entnommen wurden, sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Abbildungen, Diagramme und Tabellen sind von mir erstellt, sofern diese nicht als Entlehnung gekennzeichnet sind.

Berlin, 28. Dezember 2008

Mario Hermsdorf